

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA OBRÁBĚNÍ, MONTÁŽE A STROJÍRENSKÉ METROLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Racionalizace upínání koster elektromotoru

Rationalization of Clamping Electric Motor Cover

Autor: Petr Němeček

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava, 2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Němeček**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Racionalizace upínání koster elektromotoru**
Rationalization of Clamping Electric Motor Cover
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Upínání složitých součástí.
3. Návrh vlastního řešení.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


KOCMAN, Karel a PROKOP Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
FOREJT, Milan a PÍŠKA Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina: EDIS Žilina. 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8.
SADÍLEK, M.; DUBSKÝ, J. *Obrábění I – Výběr přednášek*. 2015. VŠB – TU Ostrava, 137 s., ISBN 978-80-246-3857-1
AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Překl. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**


Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

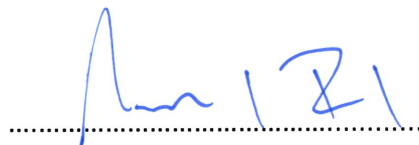


Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech strojů a zařízení od firmy SIEMENS Elektromotory, s.r.o. Mohelnice, firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě, dne 21. 05. 2018



Podpis studenta

Prohlašuji, že:

jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),

bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce, s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona, užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),

beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. 05. 2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Němeček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Růžová 826/24, 789 85 Mohelnice, Česko

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé práce doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc., za pomoc, připomínky a cenné odborné rady, dále také vedoucímu technologie obrobny šedé litiny a AlSi odlitků firmy SIEMENS Elektromotory, s.r.o. Mohelnice, Radku Svobodovi a všem pracovníkům obsluhy CNC stroje HWACHEON VTC550 za obětavou podporu při testování upínače, v neposlední řadě své rodině a kolegům v práci za trpělivost během autorské činnosti, bez které by toto dílo nevzniklo.

Anotace bakalářské práce

Bakalářská práce shrnuje obrábění a vlastnosti kostry elektromotoru osově výšky 180 mm z šedé litiny EN1561 EN-GJL-200 na CNC karuselovém centru HWACHEON HMT500. Následuje popis starého a nového způsobu procesu upínání kostry na tomto stroji. Rozbor možnosti nové konstrukce čelistí upínače s využití nezávislých upínacích segmentů a dlouhých nástrojů přinesl poznatky o plném využití obráběcího CNC stroje. Měřením kolmosti a souososti obrobene kostry poukázalo na rozdílnost při technologických způsobech obrábění. Upínání na nejnižších možných bodech kostry s využitím opěrných sloupů přineslo likvidaci přechodu na obráběné ploše. Konečné doporučení vhodnější technologie obrábění jednoznačně vyznělo pro obrábění na upínači se spodním upínáním.

Klíčová slova

šedá litina, obrábění, nástroj, kostra, upínací segment, CNC stroj, karusel, upínač.

Annotation of bachelor thesis

The bachelor thesis summarizes the machining and properties of 180 mm axle frame electromotor from EN1561 EN-GJL-200 gray cast iron on the HWACHEON HMT500 CNC carousel. The following describes the old and new method of the bending process on this machine. The analysis of the new design of clamping jaws with the use of independent clamping segments and long tools has provided insights into the full use of the CNC machining machine. Measurement of perpendicularity and cohesiveness of machined skeleton revealed differences in technological machining methods. Clamping at the lowest possible points of the skeleton using the support pillars resulted in the removal of the transition to the work surface. The ultimate recommendation of a more suitable machining technology was clear for machining on the clamps with lower clamping.

Keywords

gray cast iron, machining, tool, skeleton, clamping segment, CNC machine, carousel, fastener.

Obsah

Seznam použitých značek	12
Úvod	13
1 Obecná charakteristika problému	14
1.1 Charakteristika podniku Siemens Elektromotory Mohelnice, s.r.o.	14
1.1.1 Historie mohelnického závodu Siemens	15
1.1.2 Základní fakta firmy Siemens Elektromotory Mohelnice, s.r.o.	15
1.1.3 Vývoz elektromotorů v obchodním roce 2015	15
1.1.4 Průběh výroby elektromotoru	16
1.1.5 Složení elektromotoru v základním provedení	17
2 Základní rozdělení litin	18
2.1 Litina s lupínkovým grafitem (šedá litina)	20
2.1.1 Litiny pro běžné použití EN GJL-100 a EN GJL-150	20
2.1.2 Litiny se zaručenými mechanickými vlastnostmi EN GJL-200 a EN GJL-250	20
2.1.3 Litiny s vysokou pevností EN GJL-300 a EN GJL-350	20
2.1.4 Mechanické a fyzikální vlastnosti šedých litin	21
3 Obrábění	23
3.1 Obrobitelnost	23
3.1.1 Obrobitelnost litin	23
3.1.2 Obrobitelnost jednotlivých druhů litin	25
3.1.3 Bílá (tvrzená) litina	26
3.1.4 Litina s lupínkovým grafitem (šedá litina)	26
3.1.5 Temperovaná litina	26
3.1.6 Litina s kuličkovým grafitem	26
3.1.7 Litina s červíkovitým grafitem	26
3.1.8 ADI litiny (izotermicky zušlechtěná litina s kuličkovým grafitem)	27
3.2 Soustružení	27

3.2.1	Řezné podmínky při soustružení.....	27
3.2.2	Řezná rychlost při soustružení.....	28
3.2.3	Posuv při soustružení.....	28
3.2.4	Tloušťka obráběné vrstvy při soustružení	29
4	Upínání složitých součástí při soustružení	30
4.1	Základní druhy upnutí	30
4.2	Upínání složitých tvarů.....	30
4.2.1	Upínání na lícni desky	30
4.2.2	Upínání pomocí úhelníků.....	31
4.2.3	Upínání na trny	31
4.2.4	Pomocí opěrek.....	31
5	Obráběcí stroje	32
5.1	Obráběcí a CNC obráběcí stroje	32
5.2	Definice CNC obráběcích strojů	32
5.3	Výhody CNC obráběcích strojů	32
5.4	CNC obráběcí centra	32
5.4.1	Charakteristika obráběcích center.....	32
5.4.2	Dělení obráběcích center.....	34
5.4.3	Rozdělení podle počtu vřeten.....	34
5.4.4	Přesnost obráběcích center	34
5.5	CNC tříosé karuselové obráběcí stroje.....	35
5.5.1	Karusely.....	35
5.5.2	CNC Karusel HWACHEON VT550	36
5.5.3	SINUMERIK.....	38
6	Vlastní problém upínání koster šedé litiny 1LE180	40
6.1	Technologický postup obrábění na strojích. I. a II.	40
6.2	Stávající způsob upínání stroj I.....	43

6.3	Stávající způsob obrábění stroj č. II.....	45
6.4	Vznik přechodové hrany.....	46
7	Návrh řešení nového upínače.....	48
7.1	Koncept nového upínání	48
7.2	Konstrukce upínače.....	49
7.2.1	Ramena upínače	50
7.2.2	Konstrukce opěrného sloupu.....	50
7.3	Testování upínače	52
7.3.1	Nový nástroj pro obrábění vnitřní plochy.....	52
7.3.2	Nový nástroj pro obrábění plochy falce.....	54
7.3.3	Zhodnocení testování	55
8	Diskuse experimentů.....	56
9	Technicko-ekonomické zhodnocení	57
10	Seznam použité literatury.....	58
11	Seznam příloh	60

Seznam obrázků

Obr. 1.1 – Elektromotory SIEMENS ¹	14
Obr. 1.2 – Mapa pokrytí produkty ¹	15
Obr. 1.3 – Průběh výroby elektromotoru ¹	16
Obr. 1.4 – Řez třífázovým asynchronním elektromotorem ¹	17
Obr. 2.1 – Názvosloví grafitu na základě jeho morfologie ²	19
Obr. 3.1 – Opotřebenění destičky ⁴	24
Obr. 3.2 – Ukázka soustružení litiny nožem SANDVIK ⁴	24
Obr. 3.3 – Ukázka vydrolování povrchu součásti u litin ⁴	25
Obr. 3.4 – Obecná relativní obrobiteľnosť (M) vybraných litin: (A) litina s lupínkovým grafitem, (B) temperovaná litina, (C) litina s kuličkovým grafitem a (D) tvrzená litina litá do kokily ⁴	25
Obr. 3.5 – Druhy soustružení: a) podélné b) čelní ⁵	28
Obr. 4.1 – Lícni deska ⁶	30
Obr. 4.2 – Upnutí na úhelník ⁶	31
Obr. 4.3 – Pevná opěrka ⁶	31
Obr. 5.1 – Stroje CNC HWACHEON VT 550 MC L a R ¹²	37
Obr. 5.2 – Pracoviště obrábění koster osově výšky 1LE180 (v pozadí stroje VT 550) ¹²	37
Obr. 5.3 – Řídící jednotka stroje HWACHEON VT 550 SINUMERIK 828 D ¹²	38
Obr. 5.4 – Řídící jednotky SINUMERIK 828D ¹¹	39
Obr. 6.1 – Kostra 5053818010102 po obrobení na obou strojích ¹²	40
Obr. 6.2 – Ukázka výstupku na kostře pro montáž svorkovnice ¹²	41
Obr. 6.3 – Sonda pro ustavení obrobku ¹³	41
Obr. 6.4 – Upínání kostry 1LE180 pevnými kameny ¹²	43
Obr. 6.5 – Dvouřadý upínač řady 1LE180 s pevnými kameny ¹²	43
Obr. 6.6 – Výřez výkresu kostry 1LE180 ¹²	44
Obr. 6.7 – Kleštinový upínač 1LE180 ¹²	45
Obr. 6.8 – Plocha osazení obrobené statorové kostry ¹²	46
Obr. 6.9 – Přejíždějící hrana ¹²	46
Obr. 6.10 – Sketch řezu místa přechodové hrany ¹²	47
Obr. 7.1 – Návrh nového upínače koster osově výšky 1LE180 ¹²	49
Obr. 7.2 – Návrh opěrného sloupku ¹²	50

Obr. 7.3 – Rozklad sestavy sloupu ¹²	51
Obr. 7.4 – Řez sestavou sloupu ¹²	51
Obr. 7.5 – Adaptér ISO 570-2C 60 468-40 ⁴	52
Obr. 7.6 – Hlavička 570 – DWLNR-40-08-L ⁴	53
Obr. 7.7 – Směry posuvu hlavičky 570 – DWLNR-40-08-L ⁴	53
Obr. 7.8 – Upravený nožový držák šlichtovací destičky NSL 3225P3 COKV03 ¹²	54
Obr. 7.9 – Řez obrobenou kostrou v upínací se spodními čelistmi a podpěrnými sloupy ¹²	55
Obr. 8.1 – Hotová obrobená kostra 50538180101002 ¹	56

Seznam tabulek

Tab. 2.1 – Pevnostní charakteristiky litin ²	18
Tab. 2.2 – Mechanické vlastnosti šedých litin ²	21
Tab. 2.3 – Mechanické vlastnosti šedých litin ²	22
Tab. 5.1 – Mechanické vlastnosti stroje VT550 ¹⁰	36

Seznam rovnic

(3.1) ⁵	28
(3.2) ⁵	29
(3.3) ⁵	29
(3.4) ⁵	29
(3.5) ⁵	29

Seznam použitých značek

Název	Symbol	Jednotka
Průměr	\varnothing	[mm]
Hloubka řezu	a_p	[mm]
Délka	l	[mm]
Posuv na otáčku	f	[mm]
Anglický palec	"	[inch]
Pevnost v tahu	R_m	[N/mm ²]
Smluvní mez kluzu	$R_{p0,1}$	[N/mm ²]
Tažnost	A	%
Pevnost v tlaku	σ_{db}	[N/mm ²]
Pevnost v ohybu	σ_{aB}	[N/mm ²]
Pevnost stříhu	σ_{aB}	[N/mm ²]
Pevnost krutu	τ_{tB}	[N/mm ²]
Tvrdost Brinella		[HB]
Modul pružnosti	E	[kN/mm ²]
Poissonův poměr	ν	
Únavová pevnost v ohybu	σ_{bW}	[N/mm ²]
Mez únavy, tah-tlak	σ_{zdW}	[N/mm ²]
Lomová houževnatost	K_{IC}	[N/mm ^{3/2}]
Hustota	ζ	[g/cm ³]
Měrné teplo	c	[J/(kg·K)]
Měrný odpor	ρ	[$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$]
Tlak	p	[MPa]
Otáčky	n	[min ⁻¹]
Řezná rychlost	v_c	[m · min ⁻¹]
Řezný pohyb	v_e	[m · min ⁻¹]
Posuvový pohyb	v_f	[mm · min ⁻¹]
Hodnot drsnosti povrchu	R_z	
Úhel (stupeň)	Deg	[°]
Úhel (minuta)	Deg	[']

Úvod

Elektromotor je elektrický stroj, který slouží k přeměně elektrické energie na mechanickou práci. Firma SIEMENS Elektromotory, s.r.o. Mohelnice, je největším závodem na výrobu nízkonapěťových asynchronních elektromotorů v Evropě. Zaměstnává téměř 2 000 lidí a svou produkcí vytváří stovky návazných pracovních míst u regionálních dodavatelů. Denně podnik vyrobí téměř 4 tisíce elektromotorů, které jsou určeny k pohonu především průmyslových zařízení, jako jsou například ventilátory, čerpadla, kompresory či obráběcí stroje. Nespočet operací se provádí na výrobě různých druhů elektromotorů osových výšek 63-200 [mm]. Z tohoto velkého množství operací se zaměříme na třískové obrábění statorové kostry šedé litiny.

Třískové obrábění a jeho teorie je velice rozsáhlým vědním oborem v oblasti strojírenského obrábění kovů. Současné strojírenství, zvláště pak odvětví obrábění kovů si dnes nelze představit bez praktického využití třískového obrábění v souvislosti s předešlým vývojem v oblasti teorie obrábění. Zvláště se zaváděním CNC strojů vyvstávají zcela nové problémy spojené s řeznými podmínkami, trvanlivostí ostří, geometrií nástrojů a v neposlední řadě upínáním tvarově složitých součástí. Většinou si vystačíme s klasickými možnostmi upínání, ve sklíčidlech, lícních deskách, nebo standardních svěrácích. Avšak potřeba výroby jde neustále velmi rychle dopředu. Konstrukteři při vývoji nových výrobků, pracuje se špičkovými CAD programy, které umožňují namodelovat tvarově velmi složité součástky. Potom nastává těžký úkol pro přípravu výroby, nachystat obráběcí stroj správnými a vhodnými nástroji a navrhnout takový upínač, který by odpovídal parametrům upnutí pro tyto tvarově složité součástky.

Tato práce se zaměřuje na třískové obrábění a upínání koster statoru, tj. tenkostěnných odlitků z šedé litiny osové výšky 180 [mm].

Získané výsledky budou porovnány v závěru práce a současně doporučena vhodnější technologie pro obrábění obdobných tenkostěnných odlitků z šedé litiny, pro komponenty elektromotoru.

1 Obecná charakteristika problému

Jak již bylo v úvodu zmíněno, tato práce se zaměřuje na třískové obrábění a upínání koster statoru, tj. tenkostěnných odlitků z šedé litiny osově výšky 180 [mm]. Pro její konkrétní technologické problémy upínání a obrábění, bude podrobněji vyhrazena jedna z dalších kapitol. Jelikož se tyto kostry se vyrábějí ve firmě Siemens Elektromotory Mohelnice, s.r.o., bylo by vhodné si ji podrobněji představit.

1.1 Charakteristika podniku Siemens Elektromotory Mohelnice, s.r.o.

závod Siemens Elektromotory Mohelnice, s.r.o., je jedna z největších firem na výrobu nízkonapěťových asynchronních elektromotorů v Evropě. Výroba elektromotorů je velmi specifická, jde o spojení poctivé lidské práce s nejmodernějšími technologiemi. Zatímco před rokem 2012 firma vyráběla především základní provedení elektromotorů, dnes tvoří převážnou část naší produkce speciální provedení, tedy motory vyráběné přesně podle individuálních požadavků zákazníků. Na Obr. 1.1 vidíme některé druhy provedení elektromotoru, vyrobených v Siemens Elektromotory Mohelnice, s.r.o.



Obr. 1.1 – Elektromotory SIEMENS¹

1.1.1 Historie mohelnického závodu Siemens

Firma je na trhu již více než 112 let. Důležité milníky:

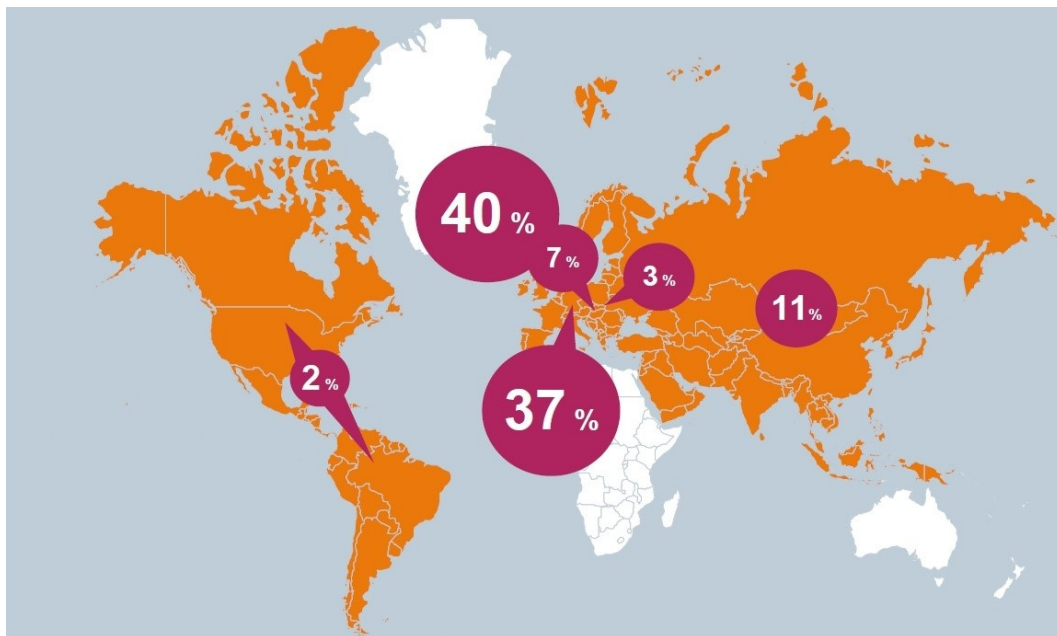
- 1904 – společnost „Ludwig Doczekal & Comp,
- 1924 – výroba asynchronních elektromotorů – smlouva o spolupráci se Siemensem,
- 1945 – 50 – znárodnění - vznik MEZ Mohelnice,
- 1994 – přímý prodej závodů MEZ společnosti Siemens,
- 2012 – otevření haly pro výrobu speciálních a zákaznických provedení elektromotorů,
- 2015 – výroba reluktančních elektromotorů¹.

1.1.2 Základní fakta firmy Siemens Elektromotory Mohelnice, s.r.o.

Za poslední obchodní rok firma vyrobila 1126000 ks elektromotorů a komponent, v 65000 aktivních variantách, na kterém se podílelo 1942 zaměstnanců¹.

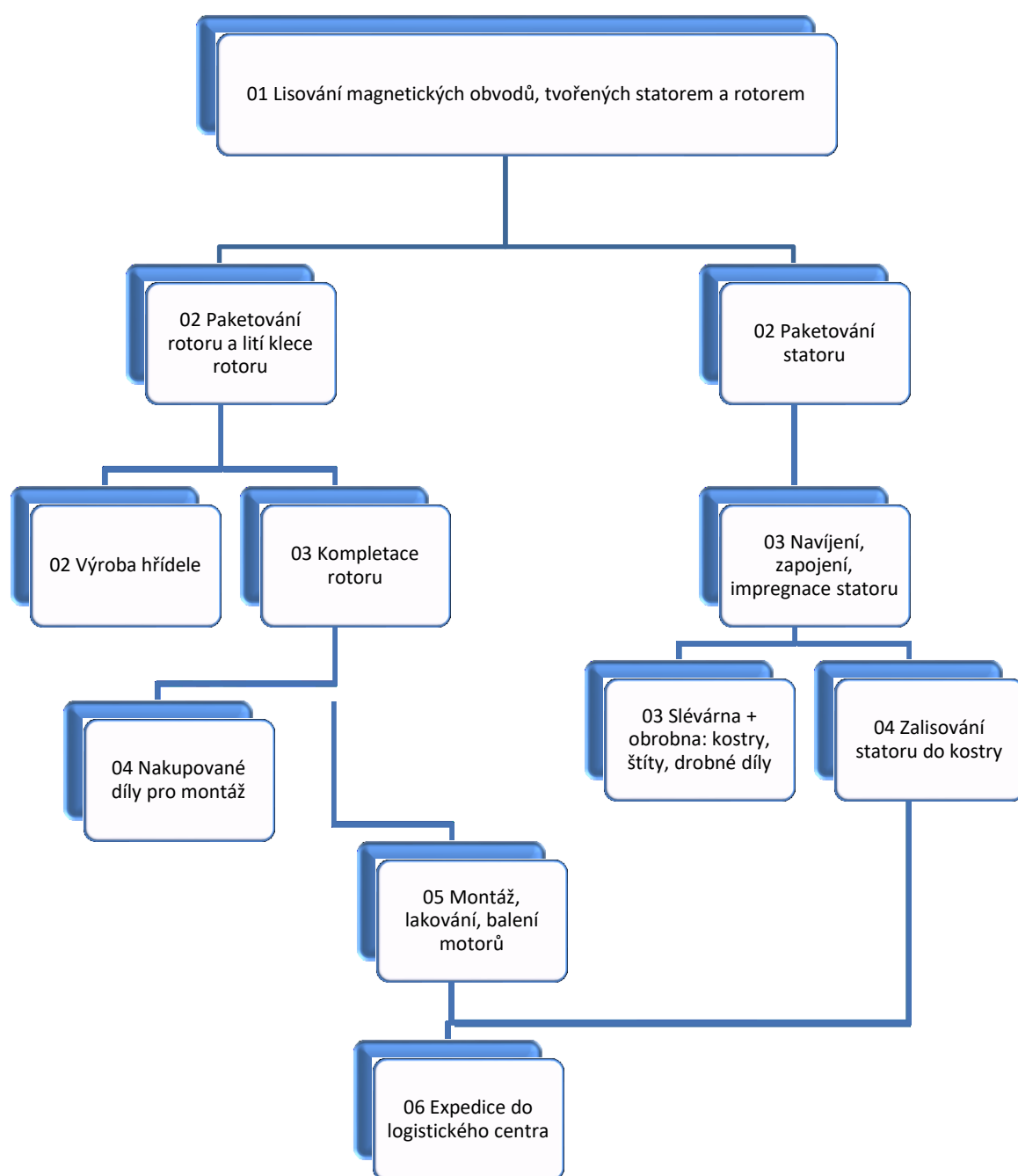
1.1.3 Vývoz elektromotorů v obchodním roce 2015

Na Obr. 1.2 je vidět jaké procento pokrytí světa a kde zásoboval v roce 2015 Mohelnický závod svými produkty. Celosvětově tedy pokrývá 93% výroby v závodě¹.



Obr. 1.2 – Mapa pokrytí produkty¹

1.1.4 Průběh výroby elektromotoru



Obr. 1.3 – Průběh výroby elektromotoru¹

1.1.5 Složení elektromotoru v základním provedení

1. Svorkovnicová skříň
2. Stator
3. Ventilátor
4. Ložisko
5. Rotor
6. Štít
7. Kostra
8. Výrobní štítek



Obr. 1.4 – Řez třífázovým asynchronním elektromotorem¹

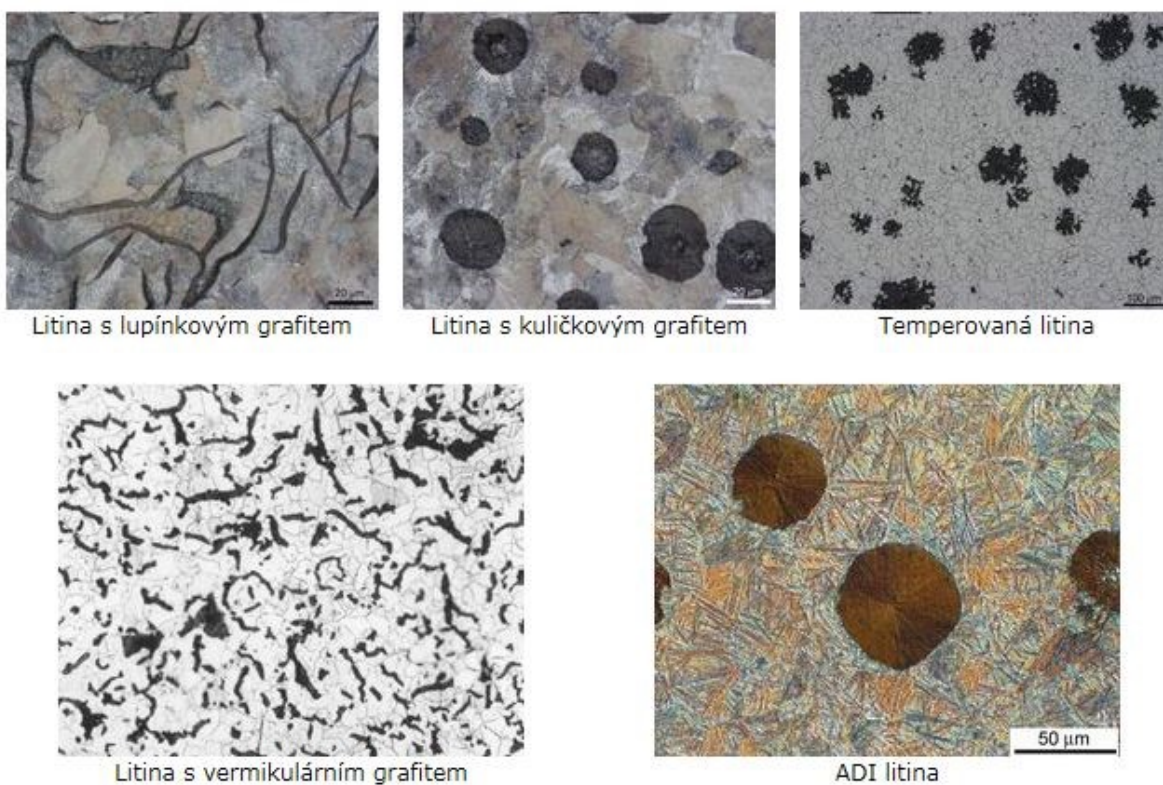
2 Základní rozdělení litin

Litiny jsou tuhými roztoky železa a uhlíku, které legují další prvky pro získání požadovaných vlastností. Na rovnovážném binárním diagramu Fe-Fe₃C hovoříme o litinách od 2,11% uhlíku v tuhém roztoku. Pod touto hranicí se nachází oceli. Pro hodnocení litin a jejich předepisování se používá norma ČSN EN ISO 945, která stanovuje názvosloví morfologie grafitu a rozděluje je do šesti tříd, jejichž vyobrazení dokumentuje Obr. 2.1².

Jednotlivé druhy litin lze srovnat dle mechanických a jiných vlastností. V pořadí litina s lupínkovým grafitem (šedá litina), litina s červíkovitým grafitem (vermikulární litina) a litina s kuličkovým grafitem (tvárná litina), se pevnost v tahu a modul pružnosti zvyšuje, stejně tak houževnatost a tažnost, naopak slévatelnost či obrobitelnost se zhoršují. Mechanické vlastnosti závisí nejen na tvaru a velikosti grafitu, ale i na matici (feritická, feriticko-perlitická, perlitická), což je základní kovová hmota, ve které je uložen grafit. Se zvyšujícím se podílem perlitu ve struktuře narůstají pevnostní charakteristiky a naopak tažnost či houževnatost klesají. Konkrétní údaje poskytuje níže uvedená Tab. 2.1².

Litiny	Feritická matrice	Feriticko-perlitická matrice	Perlitická matrice
Litina s lupínkovým grafitem	100-155 [HB] $R_m=100-200$ [MPa]	120-195 [HB] $R_m=150-300$ [MPa]	145-215 [HB] $R_m=250-350$ [MPa]
Litina s kuličkovým grafitem	$R_m=350-400$ [MPa] A=15-22 [%]	$R_m=400-600$ [MPa] A=3-10 [%]	$R_m=600-900$ [MPa] A=2 [%]
Litina s vermikulárním grafitem	Mechanické vlastnosti leží mezi litinou s lupínkovým a kuličkovým grafitem.		
Temperovaná litina s bílým lomem	$R_m=350-550$ [MPa] A=4-12 [%] 200-250 [HB]		
Temperovaná litina s černým lomem	$R_m=350-800$ [MPa] A=1-10 [%] 140-320 [HB]		

Tab. 2.1 – Pevnostní charakteristiky litin²



Obr. 2.1 – Názvosloví grafitu na základě jeho morfologie²

Pro naši práci se dále budeme zabývat pouze litinou s lupínkovým grafitem (šedou litinou)

2.1 Litina s lupínkovým grafitem (šedá litina)

Celkově lze litiny s lupínkovým grafitem rozdělit dle použití do tří skupin:

- Litiny pro běžné použití,
- litiny se zaručenými mechanickými vlastnostmi,
- litiny s vysokou pevností.

2.1.1 Litiny pro běžné použití EN GJL-100 a EN GJL-150

jsou očkované litiny typu EN GJL-100 a EN GJL-150. Tyto litiny jsou vhodné na tenkostěnné odlitky s tloušťkou stěny od 4 do 30 [mm], nebo na odlitky, u kterých se nepožaduje záruka mechanických vlastností. Používají se pro výrobu součástí pecí, kotlů, roštů, odlitky na smaltování, vodovodní tvarovky, části textilních či polnohospodářských strojů, kanálové poklopy, mříže².

2.1.2 Litiny se zaručenými mechanickými vlastnostmi EN GJL-200 a EN GJL-250

Do druhé skupiny lze zařadit litiny EN GJL-200 a EN GJL-250. Jsou obvykle očkované 75 [%] ferosiliciem. Odlévají se z nich odlitky, u kterých se požaduje záruka mechanických vlastností (pevnost v tahu a tvrdost). Nejčastěji se používají v automobilovém a strojařském průmyslu. Jsou vhodné na převodové skříně, stojany lisů, soustruhy, frézky, motorové vložky, ozubená kola, motorové bloky, hlavy válců, písty, kompresorové válce, řemenice².

2.1.3 Litiny s vysokou pevností EN GJL-300 a EN GJL-350

Obvykle se označují jako jakostní litiny. Používají se na stojany těžkých lisů a obráběcích strojů, armatury, písty těžkých kompresorů, velká ozubená kola, pastorky².

2.1.4 Mechanické a fyzikální vlastnosti šedých litin

V následujících dvou tabulkách Tab. 2.2 a Tab. 2.3 jsou zobrazeny fyzikální a mechanické vlastnosti šedých litin².

Vlastnost			Označení litiny dle EN a ČSN	
			EN-GJL-150 (EN-JL 1020) 42 2415	EN-GJL-200 (EN-JL 1030) 42 2420
			struktura	
			feriticko- perlitická	perlitická
Pevnost v tahu	R_m	[N/mm ²]	150 až 250	200 až 300
Smluvní mez kluzu	$R_{p0,1}$	[N/mm ²]	98 až 165	130 až 195
Tažnost	A	%	0,8 až 0,3	0,8 až 0,3
Pevnost v tlaku	σ_{db}	[N/mm ²]	600	720
Pevnost v ohybu	σ_{bB}	[N/mm ²]	250	290
Pevnost ve střihu	σ_{aB}	[N/mm ²]	170	230
Pevnost v krutu	τ_{tB}	[N/mm ²]	170	230
Max. tvrdost	HB		200	200
Modul pružnosti	ε	[kN/mm ²]	78 až 103	88 až 113
Poissonův poměr	ν	-	0,26	0,26
Únavová pevnost v ohybu	σ_{bW}	[N/mm ²]	70	90
Mez únavy, tah-tlak	σ_{zdW}	[N/mm ²]	40	50
Lomová houževnatost	K_{IC}	[N/mm ^{3/2}]	320	400
Hustota	ς	[g/cm ³]	7,10	7,15
Měrné teplo 20°C-200°C 20°C-600°C	c	[J/(kg. K)]	460535	
Měrný odpor	ρ	[$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$]	0,80	0,77

Tab. 2.2 – Mechanické vlastnosti šedých litin²

Vlastnost			Označení litiny dle EN a ČSN		
			EN-GJL-250 (EN-JL 1040) 42 2425	EN-GJL-300 (EN-JL 1050) 42 2430	EN-GJL-350 (EN-JL 1060) 42 2435
			struktura		
			perlitická		
Pevnost v tahu	R_m	[N/mm ²]	250 až 350	300 až 400	350 až 450
Smluvní mez kluzu	$R_{p0,1}$	[N/mm ²]	165 až 228	195 až 260	228 až 285
Tažnost	A	%	0,8 až 0,3	0,8 až 0,3	0,8 až 0,3
Pevnost v tlaku	σ_{db}	[N/mm ²]	840	960	1080
Pevnost v ohybu	σ_{bB}	[N/mm ²]	340	390	490
Pevnost ve střihu	σ_{aB}	[N/mm ²]	290	345	400
Pevnost v krutu	τ_{tB}	[N/mm ²]	290	345	400
Max. tvrdost	HB		240	260	270
Modul pružnosti	ε	[kN/mm ²]	103 až 118	108 až 137	123 až 143
Poissonův poměr	ν	-	0,26	0,26	0,26
Únavová pevnost v ohybu	σ_{bW}	[N/mm ²]	120	140	145
Mez únavy,tah-tlak	σ_{zdW}	[N/mm ²]	60	75	85
Lomová houževnatost	K_{IC}	[N/mm ^{3/2}]	480	560	650
Hustota	ς	[g/cm ³]	7,20	7,25	7,30
Měrné teplo 20°C-200°C 20°C-600°C	c	[J/(kg·K)]	460535		
Měrný odpor	ρ	[Ω·mm ² /m]	0,73	0,70	0,67

Tab. 2.3 – Mechanické vlastnosti šedých litin²

3 Obrábění

Obrobitelnost při obrábění závisí na mnoha faktorech a je velice ovlivňována mechanickými vlastnostmi jednotlivých druhů obráběných materiálů³.

3.1 Obrobitelnost

Pod pojmem obrobitelnost materiálu se rozumí souhrn vlastností materiálu, z hlediska vhodnosti pro výrobu součástí konkrétním způsobem obrábění. Myslí se tím, jak jednoduché, či obtížné je obrábět materiál při použití řezných nástrojů. Tak například uhlíková ocel střední jakosti se v porovnání s žárovevnou slitinou obrábí snadno. Při obrábění šedé litiny vzniká méně problémů, než při obrábění tvárné perliticko-feritické litiny, která je odlévána do kokil a ocel se sklony k „nalepování“ s nízkým obsahem uhlíku se obrábí hůře, než různé druhy legovaných ocelí. Obrobitelnost ale není obecně platnou definovanou standardizovanou vlastností, a to z důvodu různorodosti operací obrábění, vývoje a zlepšování řezných nástrojů. Z hlediska obrobitelnosti je velice důležité sestavit všechny vlastnosti materiálů a kritéria, které ovlivňují proces obrábění. Obrobitelnost materiálu určuje metalurgie, chemie a mechanika stejně jako tepelné zpracování, druh legujících přísad, vměstky a charakter povrchu materiálu obráběné součásti. Mezi důležité faktory dále patří kvalita břitu a držáku nástroje, obráběcí stroj a podmínky obrábění³.

Pro uživatele nejsou důležité jen výborné znalosti vlastností obráběného materiálu, ale je nutné znát i prostředky a cesty, které umožní vyhodnocení faktorů určujících úspěšný průběh procesu obrábění. Často však existuje řada nadřazených priorit, mezi které patří např. náklady na jeden obrobek, požadavky na produktivitu práce, trvanlivost břitu, zaručující specifickou jakost obrobeného povrchu a spolehlivost obrábění. To jsou zásady pro vyhodnocení obrobitelnosti u individuálních koncepcí obrábění v závislosti na výrobě. Obrobitelnost je možné zlepšit větší kvalitou odlitků, použitím lepších materiálů, nebo také změnou řezných nástrojových materiálů, geometrie břitu, způsobu upnutí, řezné kapaliny³.

3.1.1 Obrobitelnost litin

Obrobitelnost většiny druhů litin, které se používají při obrábění řeznými nástroji, se dá všeobecně označit jako dobrá. To, zda se litina opracovává dobře nebo špatně, převážně závisí na druhu struktury litiny. V tomto pohledu hodnocení je tvrdší perlitická struktura litin méně vhodná k obrábění, než jiné druhy litiny. Litina s lupínkovým grafitem je materiál, který tvoří krátkou třísku na rozdíl od litiny temperované nebo litiny s kuličkovým grafitem, které

vytvářejí třísky dlouhé. Všeobecně se dá říct, že s narůstajícím stupněm tvrdosti a pevnosti litiny se horší obrobitelnost a zkracuje trvanlivost břitu nástroje. Na Obr. 3.1 je vidět typické opotřebení břitové destičky⁴.



Obr. 3.1 – Opotřebení destičky⁴

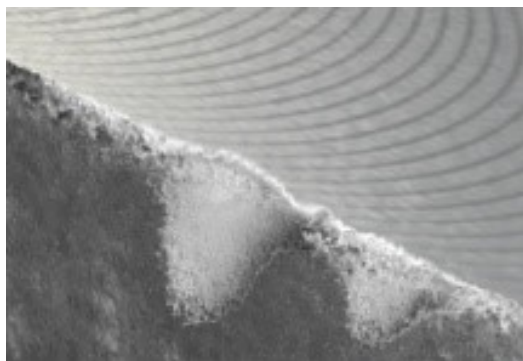
Hůře se obrábí litiny s lepšími mechanickými vlastnostmi, které jsou upravovány buď již technologií lití, nebo přísadou legujících prvků či tepelným zpracováním. Tyto materiály se vyznačují podstatně lepšími vlastnostmi než běžné litiny a patří mezi ně např. litiny s vyššími mechanickými vlastnostmi, litiny odolné proti opotřebení nebo žáruvzdorné a korozivzdorné litiny³.



Obr. 3.2 – Ukázka soustružení litiny nožem SANDVIK⁴

Všechny tyto litiny jsou z těžkoobrobitelných materiálů a patří mezi nejhůře obrobitelné materiály. Příčinou špatné obrobitelnosti je nejen vysoká tvrdost (tvrdost karbidů přesahuje až 1000 HV), ale i silné abrazivní působení cementitu a jiných karbidů na břit nástroje. Proto

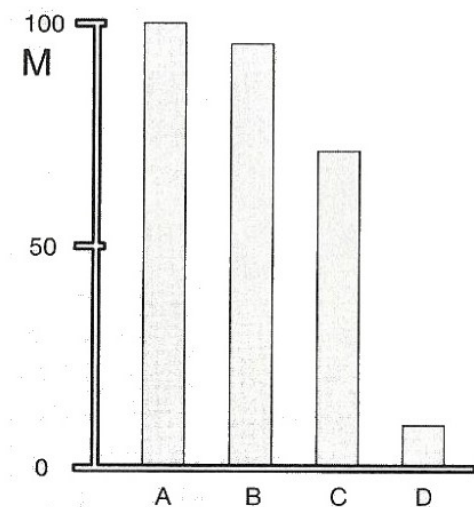
se u některých materiálů obrábění omezuje na minimum, např. pouze na úpravu ploch po nálitcích. Některé z těchto materiálů lze ke zlepšení obrobitelnosti žíhat³.



Obr. 3.3 – Ukázka vydrolování povrchu součásti u litin⁴

3.1.2 Obrobitelnost jednotlivých druhů litin

Rozdíly ve vlastnostech jednotlivých typů litin se logicky promítá i do obrobitelnosti těchto materiálů. Porovnání relativní obrobitelnosti je na Obr. 3.4⁴



Obr. 3.4 – Obecná relativní obrobitelnost (M) vybraných litin: (A) litina s lupínkovým grafitem, (B) temperovaná litina, (C) litina s kuličkovým grafitem a (D) tvrzená litina litá do kokily⁴

3.1.3 Bílá (tvrzená) litina

Je z hlediska obrábění díky obsahu cementitu specifická a vyžaduje úplně jiné řezné podmínky a geometrii břitu než jiné materiály. Dlouho bylo broušení dominantním způsobem obrábění. Velmi vysoká tvrdost a křehkost totiž dělali bílou litinu téměř neobrobitelnou a teprve, až vznik moderních soustružnických nástrojů výrazně zvýšil hospodárnost při obrábění tvrzené litiny za předpokladu dodržení stabilních podmínek. Obrobky válcovitých nebo podobných tvarů, vyrobené z bílé litiny, lze s výhodou obrábět kubickým nitridem bóru nebo řeznou keramikou při velmi nízkých řezných podmínkách⁴.

3.1.4 Litina s lupínkovým grafitem (šedá litina)

Vyznačuje se malou rázovou houževnatostí, při jejím obrábění vznikají malé řezné síly a obrobitelnost této litiny lze označit jako velmi dobrou. V průběhu obrábění nedochází k chemickému otěru a příčinou opotřebení je pouze abraze. Ve snaze zlepšit mechanické vlastnosti, je litina s lupínkovým grafitem často legována chromem, což vede ke snížení obrobitelnosti⁴.

3.1.5 Temperovaná litina

Má ve srovnání s litinou s lupínkovým grafitem vyšší mez pevnosti v tahu a z pohledu obrobitelnosti má podobné vlastnosti jako litina s kuličkovým grafitem. Tento materiál se vyznačuje dobrou opracovatelností a obecně platí, že perlitická struktura litiny zvyšuje abrazivní opotřebení, zatímco feritická struktura adhezní⁴.

3.1.6 Litina s kuličkovým grafitem

Pro litinu s kuličkovým grafitem je charakteristická tendence k vytváření nárůstku na břitu nástroje, která se projevuje ještě více u materiálů s větším podílem feritu. Při obrábění takovýchto litin a při přerušovaných řezech je dominantním mechanismem adhezní opotřebení. To může mít za následek problémy s odlupováním povlaku. U tvrdších materiálů, s větším podílem perlitu, jsou problémy s adhezí méně výrazné a mnohem více se vyskytuje abrazivní opotřebení a plastická deformace⁴.

3.1.7 Litina s červíkovitým grafitem

Z pohledu obrobitelnosti se nachází mezi litinou s lupínkovým a kuličkovým grafitem. Mez pevnosti v tahu je až třikrát vyšší než u litiny s lupínkovým grafitem a menší tepelná vodivost má za následek vyšší řezné síly při obrábění a větší množství tepla v místě řezu⁴.

3.1.8 ADI litiny (izotermicky zušlechtěná litina s kuličkovým grafitem)

Při obrábění lze přepokládat snížení životnosti nástroje o 40-50 % v porovnání litinou s kuličkovým grafitem. Pevnost v tahu a tažnost se blíží oceli, ale utvářením třísky se ADI řadí mezi tvárné litiny. U vyšších tříd ADI litin mikrostruktura obsahuje tvrdé částice. Velké tepelné a mechanické zatížení, které jsou důsledkem vysoké pevnosti a tažnosti, vedou k opotřebení soustředující se do blízkosti řezné hrany a dochází tak k opotřebení na čele břitů. Během utváření třísky vzniká vysoký stupeň zpevnění a má za následek velké dynamické změny řezných sil. Hlavním určujícím faktorem pro velikost opotřebení je teplota v místě řezu⁴.

3.2 Soustružení

Soustružení je klasická metoda třískového obrábění pro výrobu součástí převážně rotačních tvarů, zejména pomocí jednobřítých nástrojů různého provedení – soustružnických nožů. Je to nejjednodušší a zároveň nejpoužívanější způsob obrábění (na klasických soustruzích se provádí 30 – 40 % veškerých prací). Na soustruzích s ručním nebo automatickým ovládáním se soustruží polotovary s hmotností od několika miligramů až do několika tun. Při soustružení dochází k odřezávání přebytečné vrstvy (přídavku na obrábění) řeznou částí nástroje s definovanou geometrií. Odřezávaná vrstva odchází od obrobku v podobě třísky. Aby došlo k oddělení třísky od polotovaru, musí mít činná část nástroje klínový břit, který je podstatně tvrdší než obráběný materiál. Obrobek získává postupně požadovaný tvar, rozměr, drsnost povrchu i některé mechanické vlastnosti. Při obrábění je nezbytné stanovit a dodržovat určité řezné podmínky⁵.

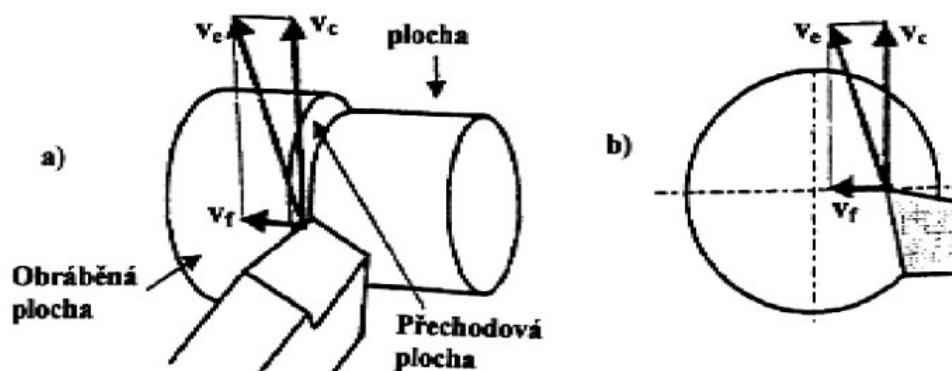
3.2.1 Řezné podmínky při soustružení

Hlavní řezný pohyb v_c je rotační a koná ho obrobek. Z povrchu rotujícího obrobku dochází prostřednictvím nože k odřezávání třísky.

Posuvový pohyb v_f je vedlejší, obvykle přímočarý a vykonává ho nástroj. Tento pohyb je nutný k tomu, aby nůž postupně odřezával třísky požadovaného průřezu.

Posouvá-li se nůž ve směru osy rotace obrobku (axiálně), pak jde o podélné soustružení a výsledný řezný pohyb v_e má tvar šroubovice, posouvá-li se však ve směru kolmém k ose rotace (radiálně), jedná se o přímé (čelní) soustružení (např. upichování,

zapichování) a výsledný řezný pohyb má tvar Archimedovy spirály Obr. 3.5. Přířuv je kolmý k posuvu – tedy při podélném soustružení je radiální a při čelním soustružení axiální⁵.



Obr. 3.5 – Druhy soustružení: a) podélné b) čelní⁵

Při stanovení řezných podmínek jde zejména o volbu řezné rychlosti v_c , posuvu f a tloušťky obráběné vrstvy (hloubky řezu) a_p .

3.2.2 Řezná rychlost při soustružení

je rychlost hlavního řezného pohybu a definujeme ji jako obvodovou rychlost měřenou na obráběné ploše. Pro různé druhy materiálů nástrojů a obrobků se používá i různých řezných rychlostí. Jsou v rozsahu od 5 [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] do 1000 [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]. Obvodovou řeznou rychlost obrobku v místě soustružení lze určit ze vztahu⁵:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$$

(3.1)⁵

D – průměr obráběné plochy [mm]

n – počet otáček vřetene [min^{-1}]

3.2.3 Posuv při soustružení

je dráha, kterou vykoná nástroj za jednu otáčku obrobku. Při hrubování je jeho hodnota 0,4 až 3,5 [mm], při dokončovacích operacích 0,06 až 0,3 [mm] a při jemném soustružení 0,03 až 0,05 [mm]. Při soustružení se nástroj posune během jedné otáčky o

hodnotu posuvu, proto lze stanovit rychlost posuvu v_f v závislosti na otáčkách vřetene následovně⁵:

$$v_f = f \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}\text{]} \quad (3.2)^5$$

f – posuv na otáčku [mm]

n – počet otáček vřetene [min^{-1}]

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}\text{]} \quad (3.3)^5$$

3.2.4 Tloušťka obráběné vrstvy při soustružení

Tloušťka obráběné vrstvy a_p se při soustružení pohybuje od hodnoty několika desetin [mm] až po několik [mm]. Velikost posuvu, hloubka řezu, úhel nastavení a tvar úseku řezné hrany, která je v záběru mají vliv na velikost a tvar průřezu třísky. Rozměr průřezu třísky pro základní druhy soustružení lze vypočítat ze vztahu⁵:

pro podélné soustružení

$$a_p = 0,5 \cdot (D - d) \text{ [mm]} \quad (3.4)^5$$

D – průměr obráběné plochy [mm]

d – průměr obrobené plochy [mm]

pro čelní soustružení

$$a_p = L - l \text{ [mm]} \quad (3.5)^5$$

L – průměr obráběné plochy [mm]

l – průměr obrobené plochy [mm]

4 Upínání složitých součástí při soustružení

Způsob upínání závisí na typu výroby, na druhu a tvaru obráběného materiálu, na stavu ploch polotovaru a dalších skutečnostech. Upínání musí umožňovat jednoduché, rychlé, tuhé a pevné a dalším eventuálním podmínkám vyhovující upnutí⁶.

4.1 Základní druhy upnutí

Do této skupiny patří:

- univerzální tři nebo čtyř čelistová sklíčidla,
- kleštiny,
- upnutí mezi hroty,
- unášecí desky (unášecí srdce).

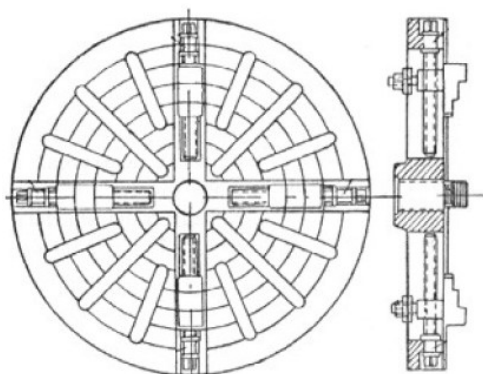
4.2 Upínání složitých tvarů

Součásti složitějších tvarů, kdy nelze použít žádný z výše uvedených způsobů pak upínáme:

- na lícní desky,
- pomocí úhelníků,
- na trny,
- pomocí opěrek.

4.2.1 Upínání na lícní desky

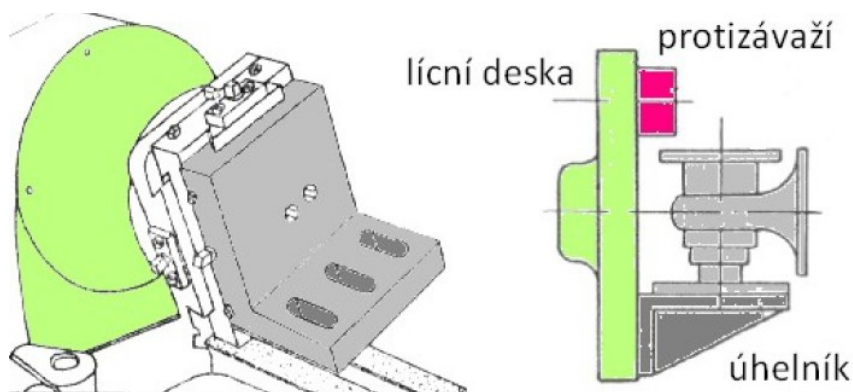
Od univerzálního sklíčidla se liší tvarem, velikostí, konstrukcí a rozsahem použití. Můžeme zde upínat součásti nerotačních tvarů, excentrické součásti aj. Každá čelist se pohybuje samostatně, drážky slouží pro upínky a pro protizávaží Obr. 4.1. Ke speciálním patří upínací desky elektromagnetické⁶.



Obr. 4.1 – Lícní deska⁶

4.2.2 Upínání pomocí úhelníků

Upínáme zde předměty složitějších a nepravidelných tvarů s rovinnými plochami kolnými k obrábění čela Obr. 4.2. Mohou být používány společně s lícní deskou⁶.



Obr. 4.2 – Upnutí na úhelník⁶

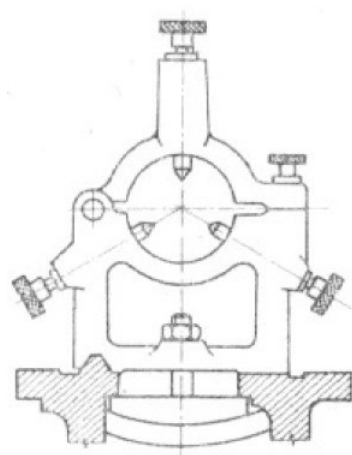
4.2.3 Upínání na trny

Soustružnické trny používáme k upínání součástí s dírou. Druhy:

- pevné – kuželové, se závitem,
- stavitelné – princip kleštin, s pružnými elementy⁶.

4.2.4 Pomocí opěrek

Dlouhé hřídelové součásti při soustružení podepíráme pohyblivými nebo pevnými opěrkami Obr. 4.3, čímž zamezíme jejich průhybu a chvění. Průhyb je způsoben radiální složkou řezné síly nebo vlastní hmotností obrobku⁶.



Obr. 4.3 – Pevná opěrka⁶

5 Obráběcí stroje

5.1 Obráběcí a CNC obráběcí stroje

Na otázku, co je obráběcí stroj, lze odpovědět tak, že jde o stroj, který je určen pro obrábění různých materiálů. CNC stroje jsou pak číslicově řízené obráběcí stroje, které lze ovládat pomocí CNC řídicího systému. První NC stroje (předchůdce CNC) jsou datovány do 40. až 50. let 20. století, sofistikovanější CNC stroje začaly vznikat v 70. letech minulého století, kdy se jedním z čelních představitelů na poli řídicích systémů a vertikálních center stala japonská firma FANUC.

5.2 Definice CNC obráběcích strojů

Číslicově řízené obráběcí stroje můžeme rozdělit do dvou skupin podle toho, kolik toho umí. První skupinou jsou jednoúčelové stroje, které lze využít pouze k jedné operaci například k dokončování obrobku. Obrábění na CNC strojích však mnohdy vyžaduje více operací, a tak vznikly stroje víceúčelové. Těm se většinou říká CNC obráběcí centra a soustruhy⁷.

5.3 Výhody CNC obráběcích strojů

CNC obráběcí stroje představují nosný prvek pružné automatizace obráběcích procesů v oblasti středně sériových, malosériových a v řadě případů také kusových výrob. Při opakované výrobě je snadno aplikovatelný řídicí program, který byl již dříve zpracován a využit. CNC stroje daleko překračují funkce jednoho stroje a umožňují návaznost na ostatní prvky celých obráběcích systémů. S velkou výhodou využívají všech předností a možností výpočetní techniky, která zasahuje do struktury a organizace výroby v nejširším slova smyslu⁷.

5.4 CNC obráběcí centra

5.4.1 Charakteristika obráběcích center

Obráběcí centrum představuje další vývojový stupeň rozvoje obráběcích strojů, který začal v 60. letech 20. století, ale byl podmíněn tím, že se začaly používat kuličkové šrouby.

Použitím těchto prvků se zvýšila přesnost strojů, také i tuhost a bylo možné začít pracovat s vyššími řeznými rychlostmi. Zvýšil se i posuv, a tím i výkon obrábění. Následujícím vývojovým stupněm bylo sdružování obráběcích operací do jednoho stroje a využívání automatizačních prvků. Obráběcí centra byla vyvíjena s cílem zefektivnit malou a středně sériovou výrobu. Důvodem byly také rostoucí požadavky na sortiment výrobků, který se hodně měnil, snižování výrobních dávek, stupňující nároky na jakost výrobků a snižování výrobních nákladů. Obráběcí centra jsou schopna pokrýt prakticky celý sortiment obráběných součástí, a to z hlediska jejich rozměru a hmotnosti. Je celkem pochopitelné, že každý typ obráběcího centra má své náležitosti, které předurčují jeho uplatnění a využití. Větší uplatnění mají centra, která mají více pracovních pohybů nástrojů. Všechny funkce obráběcího centra jsou řízeny číslicově. Tím je vyloučena přítomnost obsluhy pro ovládání jak pracovních, tak i pomocných cyklů stroje. Číslicové řízení ovládá automatickou manipulaci s nástroji i obrobkem. CNC řízení těchto strojů umožňuje zavádění pružné automatizace nejen jednotlivých center, ale i celých výrobních soustav⁸.

V současné době probíhá u obráběcích center rozsáhlá proměna, která sedá charakterizovat zaváděním strojů pro obrábění vysokými řeznými rychlostmi. Toto řešení umožňují nové nástrojové materiály, které mohou pracovat za vyšších pracovních podmínek. Výsledkem těchto změn jsou nové požadavky především na konstrukci strojů, které se promítají do snížení hmotnosti pohybujících se částí, do zvýšení celkové tuhosti, používání vysokorychlostních kuličkových šroubů nebo jiných lineárních pohonů⁹.

Z hlediska dalšího vývoje obráběcích center se to projevuje v následujících trendech:

- zavádění pěti a víceosých obráběcích center,
- zlepšování vlastností uložení a zvyšování rozsahu posuvů a otáček vřetena,
- zvyšování tuhosti celé soustavy a zlepšování pracovního prostředí centra,
- rychlé zavádění nových CNC řídicích systémů,
- zavádění nových nástrojových materiálů a nových konstrukcí nástroje⁹.

5.4.2 Dělení obráběcích center

Obráběcí centra se dělí do dvou skupin:

- se svislou osou vřetena,
- s vodorovnou osou vřetena.

Centra se svislou osou vřetena se objevují na trhu častěji, protože nabízejí širší technologické možnosti. Jsou vybavena obvykle otočným stolem s příslušným polohováním, takže umožňují opracovat součásti z několika stran při jednom upnutí. Pracovní stůl se může také naklápět. Oba tyto pohyby jsou řízeny číslicově. Obráběcí centra s vodorovnou osou vřetena jsou konstruována hlavně pro obrábění skříňového tvaru ze všech stran⁹.

5.4.3 Rozdělení podle počtu vřeten

Jedno-vřetenová pro rotační součásti:

- s vodorovnou osou vřetena,
- se svislou osou vřetena.

Jedno-vřetenová pro nerotační součásti:

- s vodorovnou osou vřetena,
- se svislou osou vřetena.

5.4.4 Přesnost obráběcích center

Pracovní přesnost výrobního zařízení lze chápat jako souhrnnou charakteristiku, která vyjadřuje vlivy geometrické přesnosti, přesnosti polohování, teplotní dilatace a deformace technologického systému při vlastním procesu obrábění. Pracovní přesnost je zjišťována kontrolou rozměrové přesnosti a přesnosti geometrické plochy zkušebního vzorku při zadaných pracovních podmínkách. Zkoušky obráběcích center podle norem ISO 10791 určují podmínky pracovní přesnosti obráběcích center se čtyřmi číslicově řízenými osami, z nichž tři jsou lineární, a jedna je otočná. U každé zkoušky je v normě popsán předmět měření, roviny měření, dovolené úchytky a tolerance měřených hodnot a použité měřicí zařízení, popis zkoušky uvádí i její schematické znázornění. Tolerance měřených hodnot se pohybuje v setinách a tisícinách milimetru. V současné době jsou kladeny stále vyšší požadavky na přesnost obráběcích strojů, protože tato přesnost se promítá v přesnosti obrobků.

součástí. Výrobci obráběcích strojů dosáhli toho, že dokážou eliminovat změny pracovních podmínek nástroje, změny pracovní teploty v určitém časovém intervalu, a tím zabezpečovat požadavky zákazníka na zvýšenou jakost výrobků. K tomu přispívá nejen konstrukce obráběcích center, ale i metody měření a kontroly jejich rozměrové, geometrické, tvarové a pracovní přesnosti⁸.

5.5 CNC tříosé karuselové obráběcí stroje

CNC obráběcí stroje všeobecně jsou v dnešní době velkými hráči výroby. Pro náš výzkum jsou velmi důležité, jelikož se jedná právě o tyto centra, které ve své práci byly podrobeny podrobnějšímu rozboru.

5.5.1 Karusely

Karusel (z francouzského „Carroussel“, kolotoč) nebo vertikální soustruh je obráběcí stroj k soustružení velkých a spíše plochých obrobků. Obráběný kus je horizontálně (vodorovně) vyrovnan a upnut na upínací desku, která se otáčí kolem svislé osy C.

Karusely se dělí na jedno stojanové a dvou stojanové s příčnickem, který omezuje výšku obrobku. Základní parametry stroje jsou: průměr upínacího stolu (desky), maximální výška od stolu po nožovou hlavu a maximální možná hmotnost obrobku. Běžné karusely v ČR mají upínací desku o průměru od 800 [mm] do 5000 [mm]. Rekordmanem v ČR je karusel ČKD BK vyrobený kvůli vodnímu dílu Dalešice (1970 -78), kde je deska o průměru 7992 [mm]. A jelikož je to karusel jedno stojanový, lze při odjetí stojanu a naskládání náplatků na desku soustružit průměr až 16,5 [m]⁹.

Na karuselech se v dnešní době obvykle soustruží pouze v osách Z (vertikální osa) a X (horizontální osa). U stroje plně vybaveného CNC je k dispozici i osa C, užívaná pro frézování nebo vrtání, jelikož upínací deska se může v ose C otáčet o zadaný úhel v toleranci desetin úhlových minut. Co se přesnosti týče, dodržují se bez problému (samozřejmostí je přesné měření a zkušenosti) H tolerance dle ISO a v případě velmi přesných prací je možno soustružit průměr 2000 [mm] v toleranci $\pm 0,02$ [mm]⁹.

5.5.2 CNC Karusel HWACHEON VT550

HWACHEON VT550 je CNC obráběcí stroj jihokorejské firmy HWACHEON Obr. 5.1 a Obr. 5.2. Jedná se o vertikální obráběcí CNC centrum, karuselového typu s revolverovým multifunkčním držákem s možností pohonu nástroje pro vrtání a 15" vřetenem pro sklíčidlo s kuželovým výstupem, který svírá jednostranně úhel $7^{\circ}14'$. To zajišťuje velice přesné upnutí sklíčidla s možností vyrovnat upnutí v toleranci 0,01 [mm]. Vřeteno VT-550 poskytuje silné upnutí pro stabilní a přesné obrábění. Mechanické vlastnosti jsou popsány v Tab. 5.1¹⁰.

Řídící jednotka je v našem případě SINUMERIK 840 D Obr. 5.3¹¹

Mechanické vlastnosti stroje HWACHEON VT550		
Položka	jednotka	hodnota
Točný průměr nad ložem	[mm]	Ø820
Max. Průměr řezu	[mm]	Ø650
Max. Délka řezu	[mm]	700
Velikost sklíčidla	["]	15
Maximální otáčky vřetena	[ot/min]	1500
Vnitřní průměr ložiska vřetena	[mm]	Ø160
Motor vřetena	kVA	22/18,5
Počet nástrojových stanic	[ea]	12
Rychlost posuvu (X / Z)	[m/min]	20/20
Max. Zdvih (X / Z)	[mm]	350/790
Výkon motoru vřetena	[kW]	5,5
Min. Indexový úhel	[deg]	0,0001°
Řídící jednotka		SINUMERIK 828 D
NC řadič		SINUMERIK

Tab. 5.1 – Mechanické vlastnosti stroje VT550¹⁰



Obr. 5.1 – Stroje CNC HWACHEON VT 550 MC L a R¹²



Obr. 5.2 – Pracoviště obrábění koster osově výšky 1LE180 (v pozadí stroje VT 550)¹²



Obr. 5.3 – Řídicí jednotka stroje HWACHEON VT 550 SINUMERIK 828 D¹²

5.5.3 SINUMERIK

SINUMERIK je označení řídicích systémů pro obráběcí stroje, jejichž výrobcem je firma Siemens AG. Tento řídicí systém, jenž v roce 1964 dostal název SINUMERIK, okamžitě zvýšil výkonnost a provozní pružnost výrobních procesů. SINUMERIK je po padesáti letech svého vývoje využíván v řadě výrobních podniků po celém světě. Své nezaměnitelné místo má dnes při výrobě komponentů v řadě průmyslových odvětví – například v letectví, automobilovém průmyslu nebo medicínské technice¹¹.

V roce 1996 uvedl Siemens na trh produkt SINUMERIK Safety Integrated - první CNC systém se zabudovanými bezpečnostními funkcemi. O pouhý rok později byly představeny nástroje ShopMill a ShopTurn, což jsou dílensky orientovaná vývojová prostředí umožňující sestavovat programy pro výrobu obrobků při použití grafického uživatelského rozhraní. V roce 2005 Siemens uvolnil k prodeji otevřený a nový CNC systém SINUMERIK 840D sl pro 31 řízených os a systém SINUMERIK 802D sl určený pro méně náročné aplikace na soustruzích a frézkách menší až střední výkonnosti. V roce 2009 společnost Siemens vystavovala CNC systémy SINUMERIK 828D a SINUMERIK 840D sl s ovládacím rozhraním SINUMERIK Operate.

Jedná se o moderní obslužné obrazovky pro efektivní řízení stroje, které sjednocují známá ovládací prostředí HMI Advanced, ShopMill a ShopTurn do jednoho řešení¹¹.



Obr. 5.4 – Řídící jednotky SINUMERIK 828D¹¹

V technologickém balíku MDynamics pro frézování společnost Siemens nabízí řešení garantující perfektní kvalitu povrchu, přesnost a rychlost. Jádrem SINUMERIK MDynamics je nové inteligentní řízení pohybu Advanced Surface. Další funkcí SINUMERIK MDynamics je nové nástrojové hospodářství a programové vybavení pro jednoduché seřízení stroje. V nabídce balíku jsou dále inovované technologické, resp. měřicí cykly a funkce vysokorychlostního obrábění (High Speed Cutting – HSC). SINUMERIK MDynamics je k dispozici pro tříosé stroje s řídicím systémem SINUMERIK 828D a pro pěti-osé stroje s řídicím systémem SINUMERIK 840D SL¹¹.

6 Vlastní problém upínání koster šedé litiny 1LE180

6.1 Technologický postup obrábění na strojích. I. a II.

Jak už bylo řečeno v úvodu, na CNC strojích se HWACHEON se obráběly kostry elektromotorů statorových svazků o velikosti osově výšky 180 [mm]. Konkrétně se jedná o výkres kostry 5053818010102 Obr. 6.1.

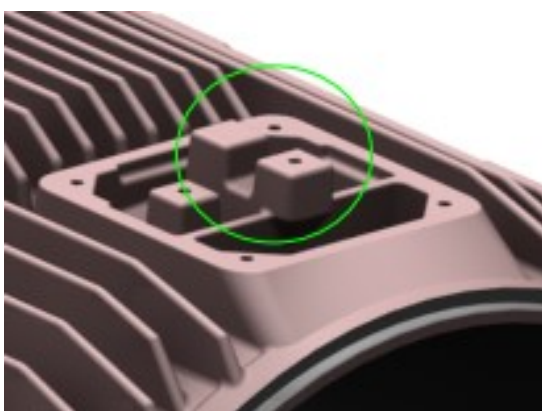


Obr. 6.1 – Kostra 5053818010102 po obrobení na obou strojích¹²

Na obou strojích současně se obráběly veškeré plochy, díry a závity a to operacemi následujícím způsobem:

- kostra v surovém stavu se jeřábem nasadila na upínač na stroje č. I., výstupem pro upínání tělesa svorkovnic směrem nahoru, za-aretovala se do vhodné pozice, upnula a započalo obrábění,
- první operací přejížděl nůž pro hrubování falce čela $\varnothing 306,5$ [mm], rychlost otáček 200 [min^{-1}], posuv na otáčku 0,3 [mm],

- další operací přejížděl nůž pro hrubování vnitřní plochy $\varnothing 297,3$ [mm], rychlost otáček 200 [min⁻¹], posuv na otáčku 0,8 [mm],
- po té šlichtovací nůž provedl obrobení falce čela $\varnothing 306 h6^{-0,032}$ [mm], rychlost otáček 200 [min⁻¹], posuv na otáčku 0,1 [mm],
- finální šlichtovací nůž obrobil plochu $\varnothing 295,4^{+0,05}$ [mm] na hotovo, ale pouze do poloviny kostry, jelikož upínání nedovolovalo hlubší dojezd nože, kvůli výšce upínače, rychlost otáček 200 [min⁻¹], posuv na otáčku 0,5 [mm],
- následovalo vrtání, vrtáky $\varnothing 2$ [mm] až $\varnothing 11,6$ [mm] po obvodu plochy (uzemňovací díry, díry v tělese pro svorkovnici a díry z čela kostry pro upevnění, štítu a krytu ventilátoru), rychlost otáček 2000 [min⁻¹], posuv na otáčku 0,3 [mm],



Obr. 6.2 – Ukázka výstupku na kostře pro montáž svorkovnice¹²

- poslední operací na prvním stroji je závitování děr M5 na výstupu pro těleso svorkovnice 4xM10 na čele, v uších pro přichycení štítu, u této operace bylo důležité použití sondy Obr. 6.3, která nejprve provedla kontrolu místa pro obrábění Obr. 6.2 a nastavila finální natočení kostry před obráběním,



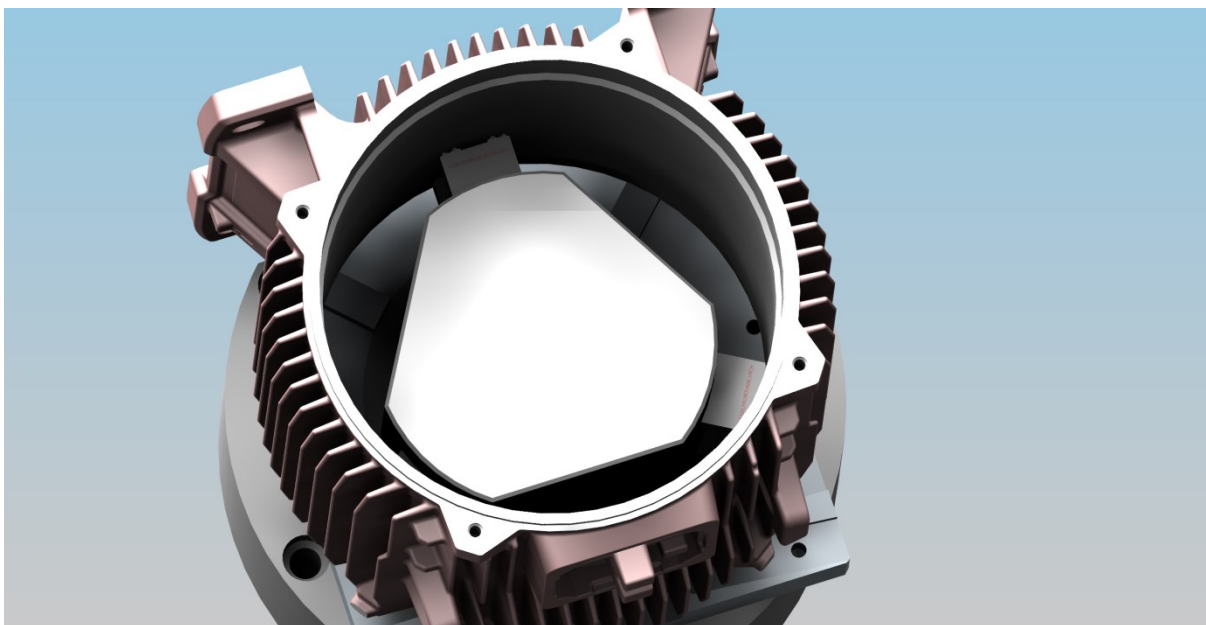
Obr. 6.3 – Sonda pro ustavení obrobku¹³

- kostra se odepne a jeřábem se kostra upne do kleštiny nachystané ve stroji č. II.,
- první operací stroje č. II. přejížděl nůž pro hrubování falce čela $\varnothing 306,5$ [mm], rychlost otáček 200 [min⁻¹], posuv na otáčku 0,3 [mm],
- následovalo stejně jako u stroje č. I. hrubování vnitřní plochy $\varnothing 297,3$ [mm], rychlost otáček 200 [min⁻¹], posuv na otáčku 0,8 [mm],
- po té šlichtovací nůž provedl finální obrobení falce čela $\varnothing 306$ $h6^{-0,032}$ [mm], rychlost otáček 200 [min⁻¹], posuv na otáčku 0,1 [mm],
- finální šlichtovací nůž obrobil plochu $\varnothing 295,4^{+0,05}$ [mm] na čisto, tak že se potkává s již obrobenou plochou z první operace,
- následná operace vrtání a závitování všech děr na falci, byla shodná jako u stroje č. I.,
- poslední operací bylo zarovnání žeber mezi patkami kostry frézou na příslušný rozměr 27 [mm], rychlost otáček nástroje (fréza) 1500 [min⁻¹], posuv na otáčku 0,5 [mm],

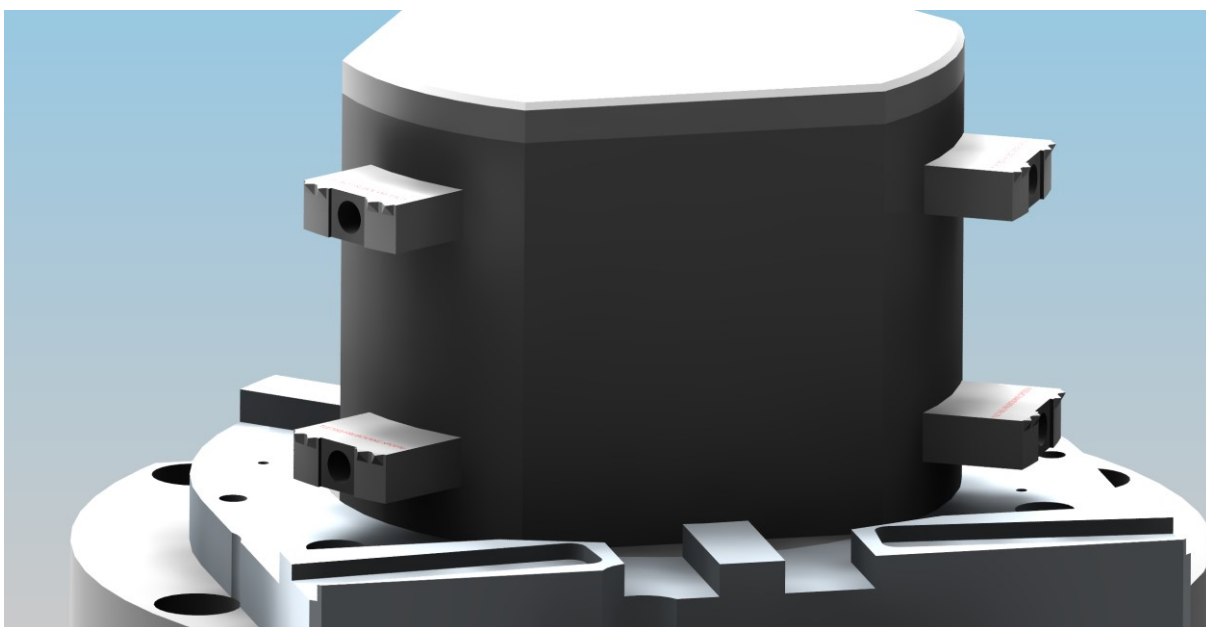
Cílem tohoto postupu bylo v co nejkratší době a nejefektivněji obrobit celou kostru. Jelikož stroje jsou dvojčata (pravá, levá), v době kdy se na stroji č. I. obráběla první operace, mohlo se na stroji č. II. souběžně obrábět finální operaci. Další výhodou se ukázal fakt, že oba stroje mohl obsluhovat jeden člověk, čili se naplno využilo kapacit stroje. Výsledky obrábění přinesly vysokou kvalitu obráběné plochy, i když se jedná o poměrně objemově slabý a nestabilní kus. Dodržet tolerance dané výkresem 50538180101002 Obr. 6.6 není při velikosti odlitku snadná věc, ale jak se ukázalo stroje, i technologie si poradila s daným problémem dobře.

6.2 Stávající způsob upínání stroj I.

Jak už jsem zmiňoval v předchozí kapitole, při obrábění plochy $\varnothing 295,4^{+0,05}$ [mm] kostry statoru na stroji č. II. vznikala přechodová hrana, jelikož se musel kus upínat, dvakrát. První strana byla uchycená na prvním stroji v upínači, který má šest upínacích kamenů ve dvou řadách jak je vidět na Obr. 6.4 a Obr. 6.5.



Obr. 6.4 – Upínání kostry 1LE180 pevnými kameny¹²

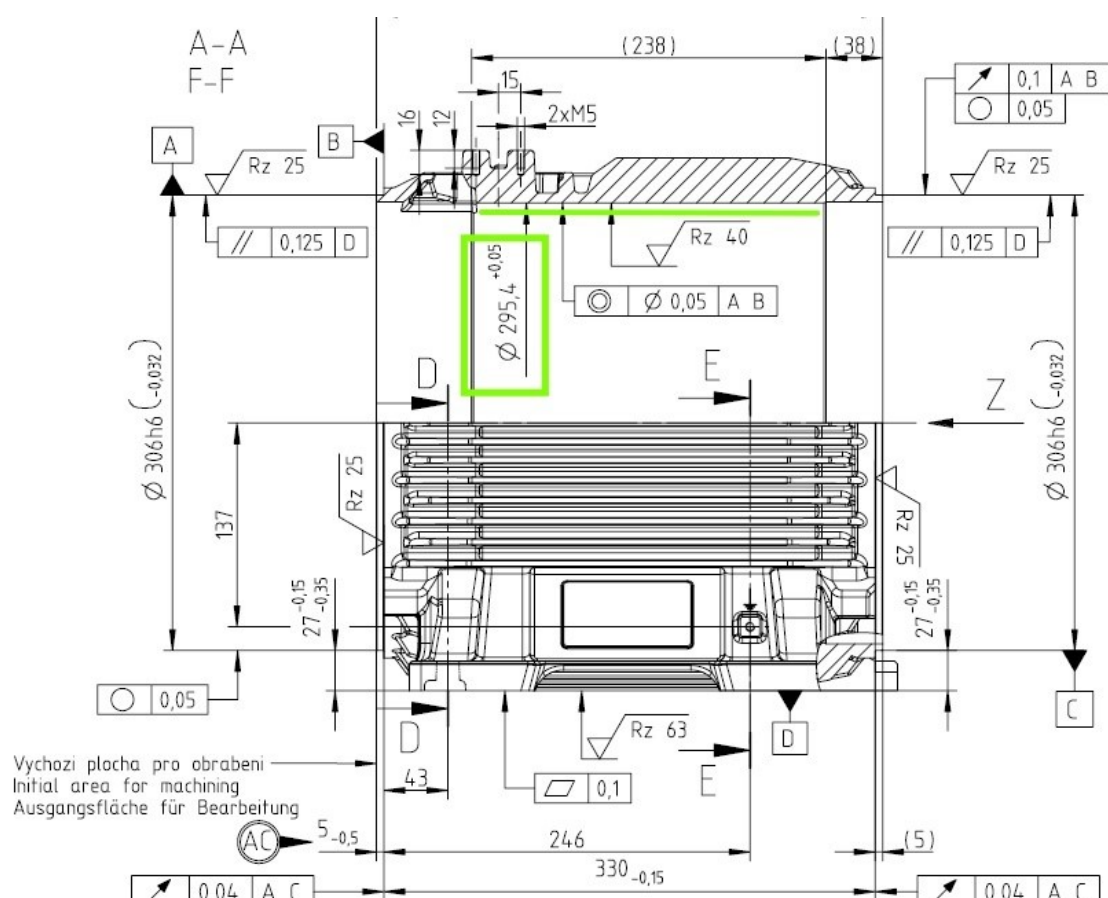


Obr. 6.5 – Dvouřadý upínač řady 1LE180 s pevnými kameny¹²

Nůž, který obrábí, tedy nemohl dojet, až na konec požadované plochy zadaného průměru. Vyobrazení rozměru a délky obráběné plochy je zvýrazněno na Obr. 6.6 – Výřez výkresu kostry 1LE180.

Jak je z výkresu patrné, na $\varnothing 295,4^{+0,05}$ [mm] je požadovaná vysoká přesnost, obrobené plochy s podmínkou soustřednosti ploch $\varnothing 306\text{ h6}$ [mm] a ještě poměrně velká tolerance povrchové úpravy Rz 40.

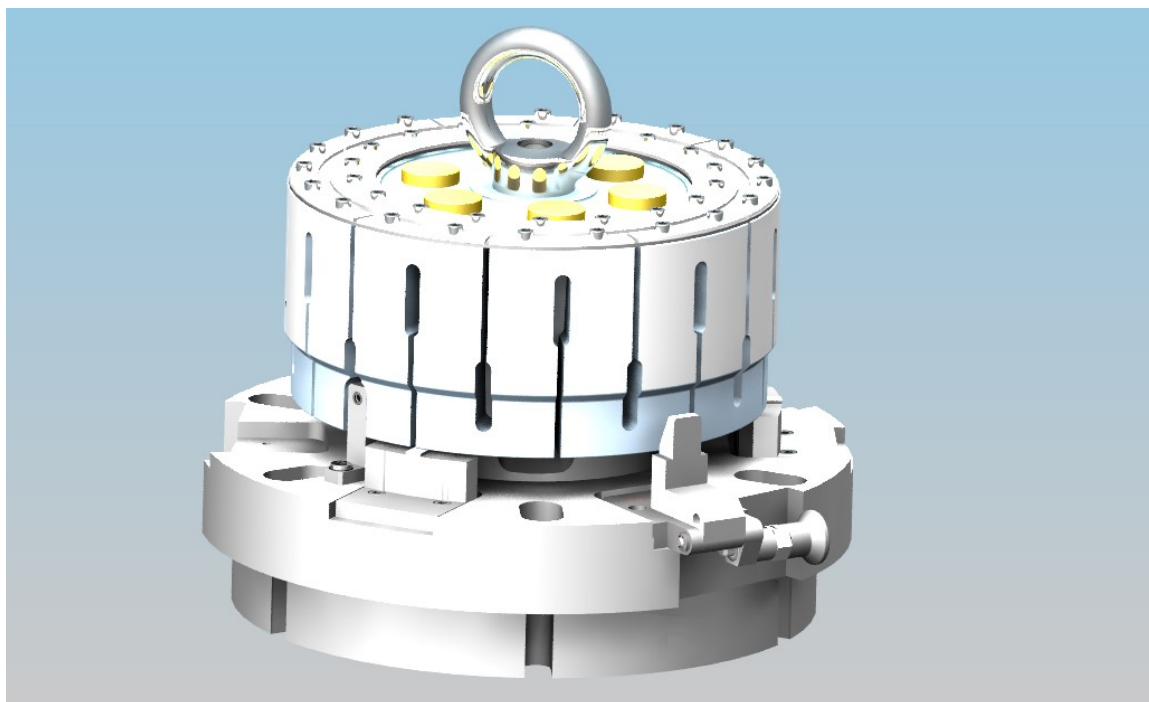
Všechny tyto skutečnosti naznačovaly, že dosavadně zvolený technologický postup není úplně vhodný. Vzhledem k tomu, že znovu upínáním, tak velké součásti dojde nepochybně k možnosti, při které obrobené se plochy nemusí spojit úplně přesně tak, aby zajišťovali dodržení obráběných ploch z výkresové dokumentace.



Obr. 6.6 – Výřez výkresu kostry 1LE180¹²

6.3 Stávající způsob obrábění stroj č. II.

Při druhé operaci se musí kus upnout do kleštinového upínače Obr. 6.7 na stroji č. 2, kde se celá operace dokončí. Toto upnutí bude hrát klíčovou roli v závěrečném opracování nového způsobu upínání.



Obr. 6.7 – Kleštinový upínač 1LE180¹²

6.4 Vznik přechodové hrany

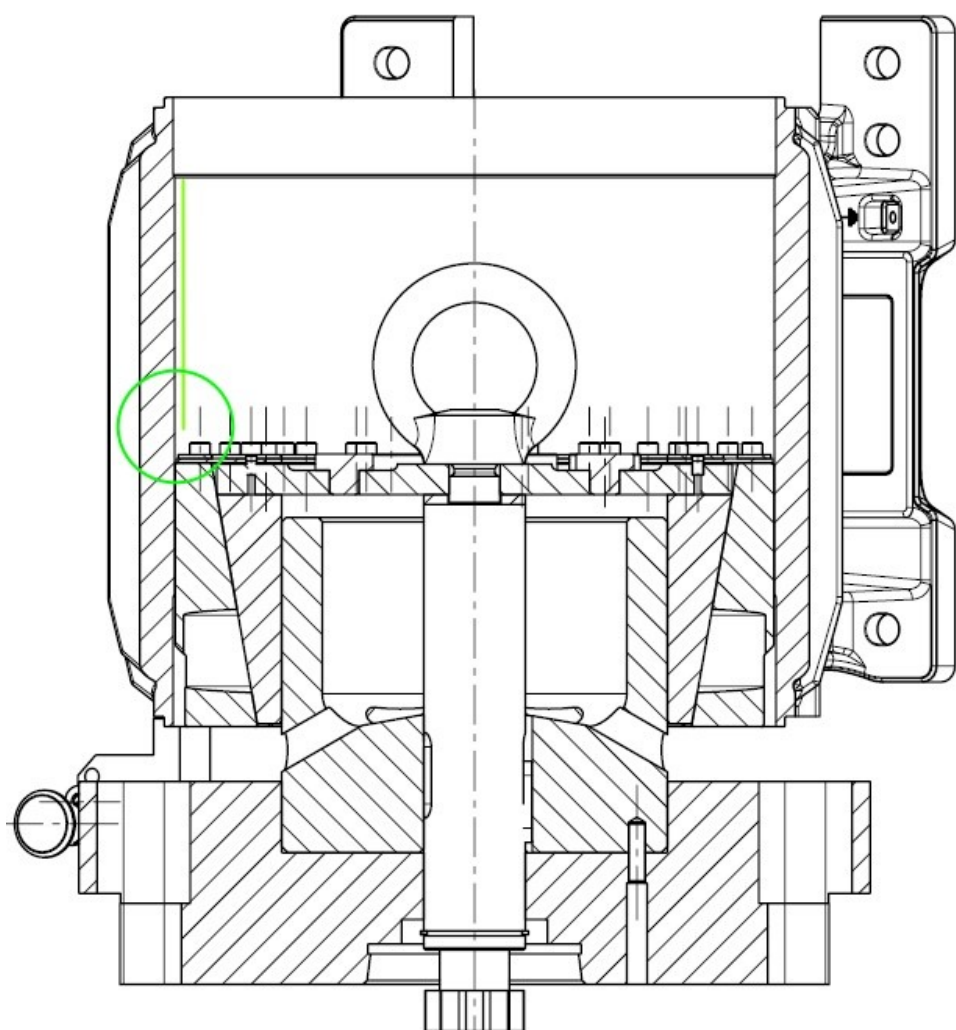
Místo kde vzniká přechodová hrana, znázorňuje Obr. 6.8 a Obr. 6.9, ta zabraňuje kvalitnímu zalisování svazku a způsobuje vibrace při měření. Na výkrese Obr. 6.10, je potom přesně vyobrazeno kde problém vzniká.



Obr. 6.8 – Plocha osazení obrobené statorové kostry¹²



Obr. 6.9 – Přechodová hrana¹²



Obr. 6.10 – Sketch řezu místa přechodové hrany¹²

7 Návrh řešení nového upínače

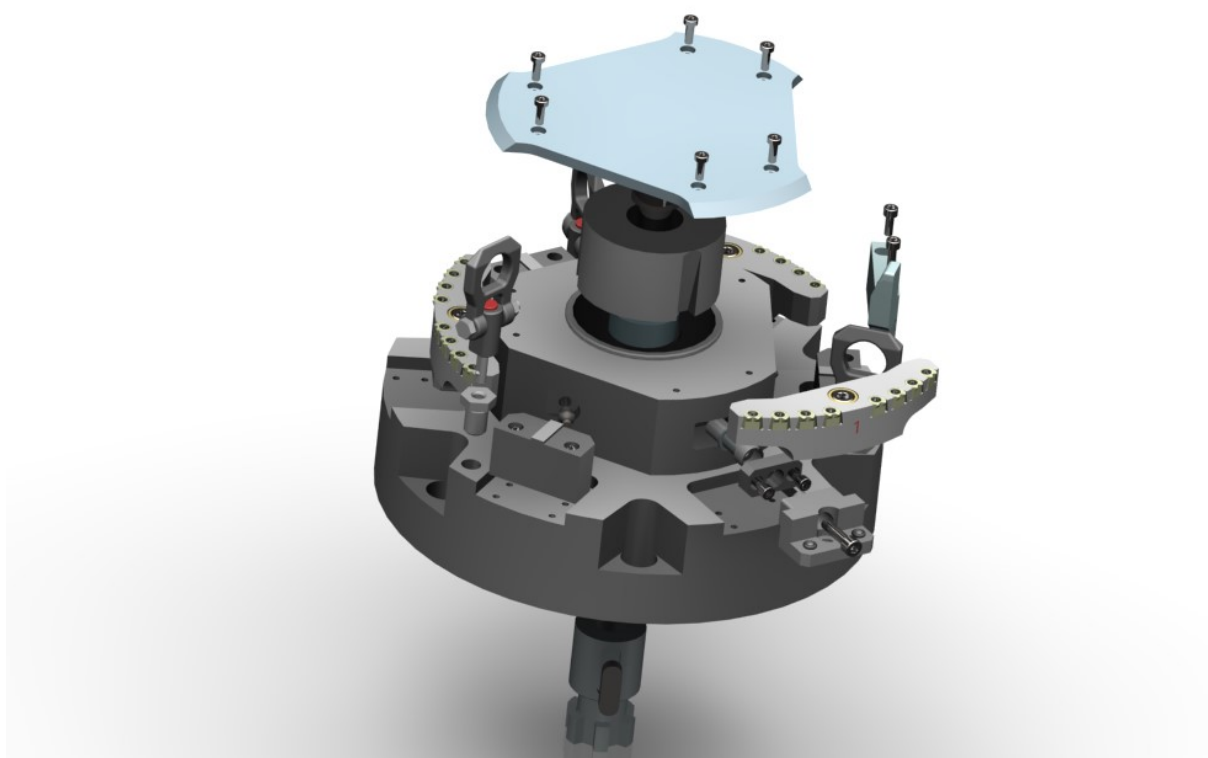
7.1 Koncept nového upínání

Všechny dosavadní problémy nasvědčovaly tomu, že je nutné změnit koncepci upínání tak, aby bylo možno nalisovat statorový svazek na čistý povrch bez přechodové drážky. Nový upínač měl za úkol uchytit kostru ve stejné pevnosti, přičemž nůž musel obrobit plochu statorového průměru najednou, aby bylo dosaženo kýženého výsledku. Od začátku bylo jasné, že ubude upínacích bodů ve středu kostry a tudíž je nutno nahradit tuto sílu jiným dostatečným udržovací tlakem. Jako vhodné řešení se jeví přidržení kostry z její vnější strany, ovšem nesmí se opomenout, přístup jednotlivých vrtacích nástrojů k opracování děr. Vzniká proto tým pracovníků firmy Siemens Elektromotory, s.r.o., složený ze dvou pracovníků technologie obrobny a konstruktéra s nástrojárny, této firmy, kteří po dlouhých jednáních vytvořili nový návrh upínacího zařízení. Návrh dohody obsahoval tyto body:

- upínač musí splňovat podmínky připojovacích rozměrů stroje HWACHEON VTC550,
- těleso upínače nesmí nijak omezit dráhu obráběcího nože na $\varnothing 295,4^{+0,05}$ [mm],
- čelisti upínače měly být výkyvné, šestibodové a mělo se využít koncepce segmentových vložek,
- k upnutí bude využito pomocných sloupů, kterým se omezí vibrace při obrábění a zpevní se celkové upnutí,
- tlak stroje při upínání nesmí překročit 0,6 [MPa], proto aby se nedeformoval tvar kostry a nevznikaly problémy při měření po odepnutí ze stroje a byly tak dodrženy všechny tolerance kruhovitosti a souososti zadané na výkrese,
- k výběru nástroje pro obrobení $\varnothing 295,4^{+0,05}$ [mm] bude přizván odborný poradce s firmy SANDVIK CZ, s.r.o.

7.2 Konstrukce upínače

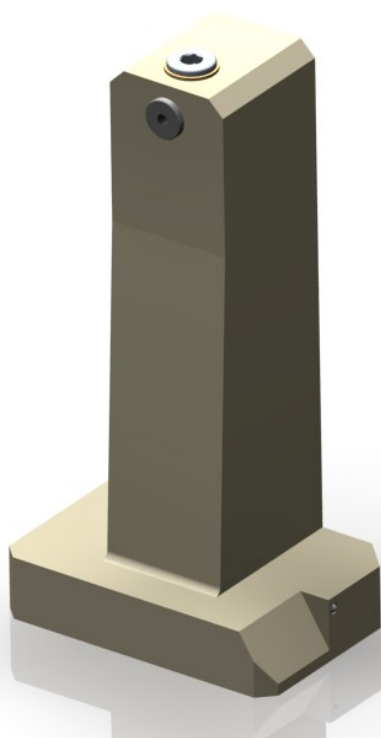
Po všech jednání byl započat vývoj nového upínače Obr. 7.1. První návrhy byly na stole zhruba za měsíc. Upínací těleso je z materiálu 15 241 zušlechtěného na 120 [Kp/mm²], ten zaručoval vysokou houževnatost upínače a je také velmi odolný prostředí vytvořené v obráběcím stroji. Přesné uchycení do stroje bylo zaručeno kuželem 7[°]30['] na lícni straně, díky kterému je možno upínač na stroji pomocí upínacích bodů usadit do tolerance 0,01[mm] házivosti stroje. Čelisti byly navrženy a vyrobeny, výkyvné opatřené gumovými tlumiči, zaručující díky tlačným pružinám, přesné navrácení čelisti do původní polohy a také zabraňují čelisti v otočení v bok.



Obr. 7.1 – Návrh nového upínače koster osové výšky 1LE180¹²

7.2.1 Ramena upínače

Jelikož oproti staršímu způsobu upínání, bylo nutno opustit koncepci dvouřadého upínače, musela se vymyslet jiná varianta pevného ustavení kostry na upínači. Po několika návrzích se domluvilo, že stabilitu kostry bude zaručovat trojice hydraulických sloupů Obr. 7.2. Síly upínání měly působit z vnější strany a to v místech, aby nebyla ohrožena funkčnost technologie obrábění děr pláště kostry.



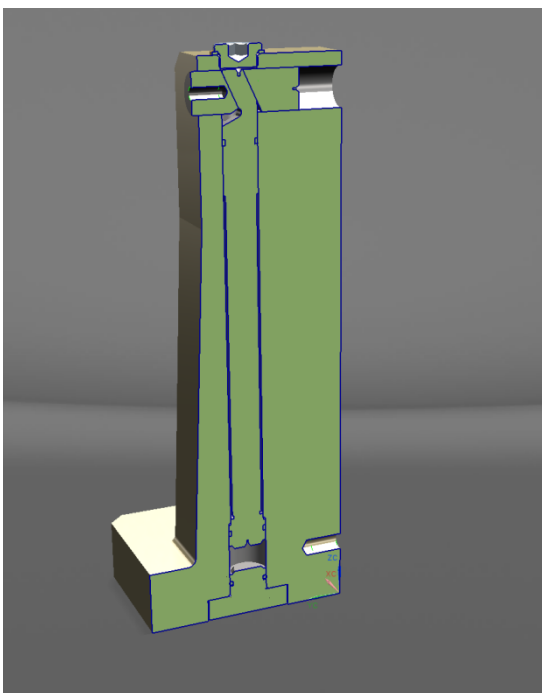
Obr. 7.2 – Návrh opěrného sloupu¹²

7.2.2 Konstrukce opěrného sloupu

Tělo opěrného sloupu bylo vyrobeno z lehké slitiny hliníku Duralu EN AW 5083, který byl povrchově eloxován tak, aby odolával podmínkám ve stroji při obrábění Obr. 7.3. Eloxace se ukázala velmi vhodnou povrchovou úpravou sloupu. Slabá vrstva tohoto druhu povrchové úpravy materiál tělesa nejen vytvrdila, ale ochránila před korozí, jelikož je ve stroji permanentně vystavena proudu chladicí emulze. Vevnitř tělesa byl umístěn píst, který pomocí přesně nabroušené pístnici, přenášel vertikální sílu tlačného čepu na vnější stranu kostry. Pístnice vykonávala vertikální pohyb pomocí tlaku hydraulického oleje Obr. 7.4.



Obr. 7.3 – Rozklad sestavy sloupu¹²



Obr. 7.4 – Řez sestavou sloupu¹²

7.3 Testování upínače

Po vyrobení prvního prototypu upínače, přišlo k testování funkčnosti tohoto mechanismu. Dříve, ale než započalo samotné testování, bylo nutné připravit oba stroje na nový technologický postup a taktéž vybavit novými nástroji.

7.3.1 Nový nástroj pro obrábění vnitřní plochy

Jak už bylo v předchozím textu zmíněno, o požadovaný výběr vhodných obráběcích nástrojů se postarala technologie obrobny ve spolupráci s firmou SANDVIK a KENNAMETAL.

První nástroj pro obrábění plochy $\varnothing 295,4^{+0,05}$ [mm], od firmy SANDVIK³ byl složen z adaptivního adaptéru s válcovou stopkou CoroTurn® SL ISO 570-2C 60 468-40 Obr. 7.5 s upínací délkou umožňující dojet nástrojem vzdálenost 290[mm], což byla přesně požadovaná délka nástroje.



Obr. 7.5 – Adaptér ISO 570-2C 60 468-40⁴

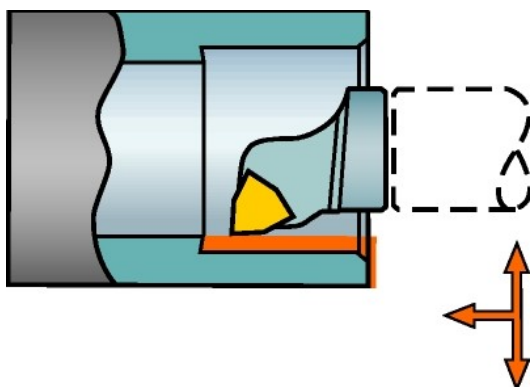
Na adaptér se namontovala hlavička SANDVIK T Max® P³ pro soustružení vnitřních rozměrů Obr. 7.7 s označením 570-DWLNR-40-08-L Obr. 7.6



Obr. 7.6 – Hlavička 570 – DWLNR-40-08-L⁴

Označení DWLNR nám říká:

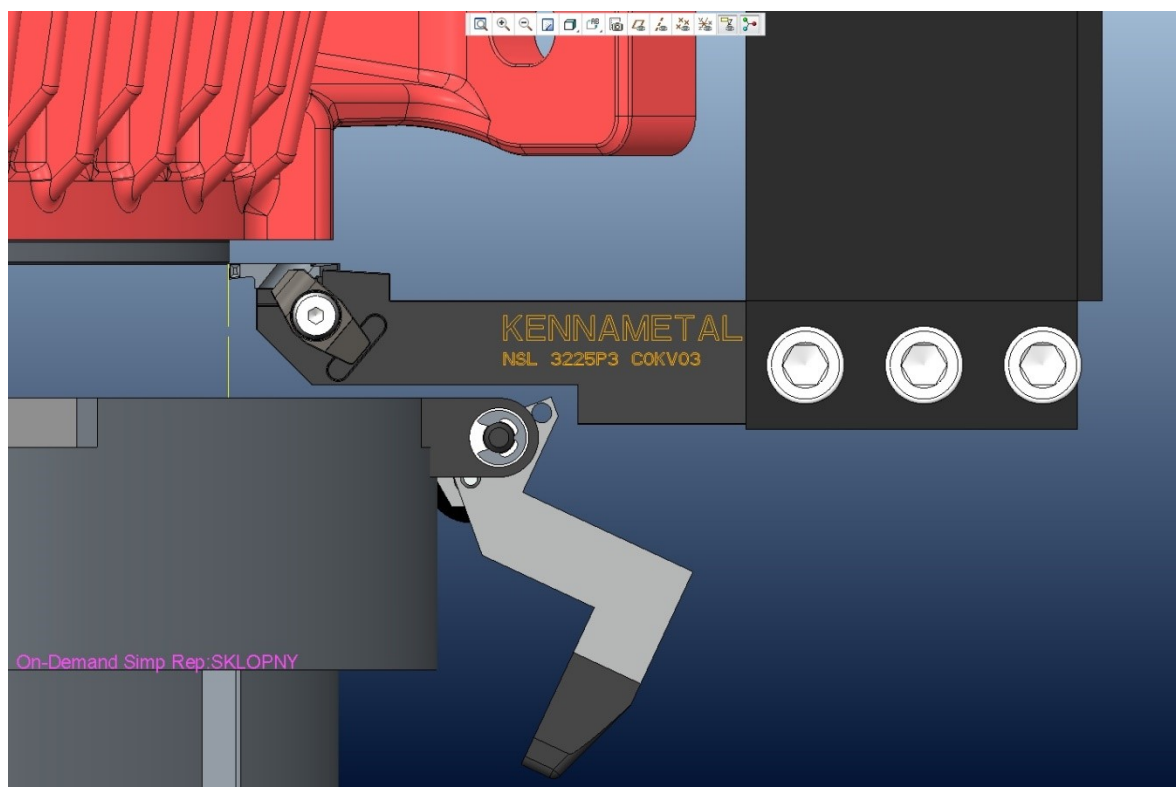
- D – způsob upnutí nožové destičky,
- W – tvar destičky,
- L – tvar nože – úhel nastavení 95°,
- N – úhel hřbetu 0°,
- R – velikost destičky¹⁴.



Obr. 7.7 – Směry posuvu hlavičky 570 – DWLNR-40-08-L⁴

7.3.2 Nový nástroj pro obrábění plochy falce

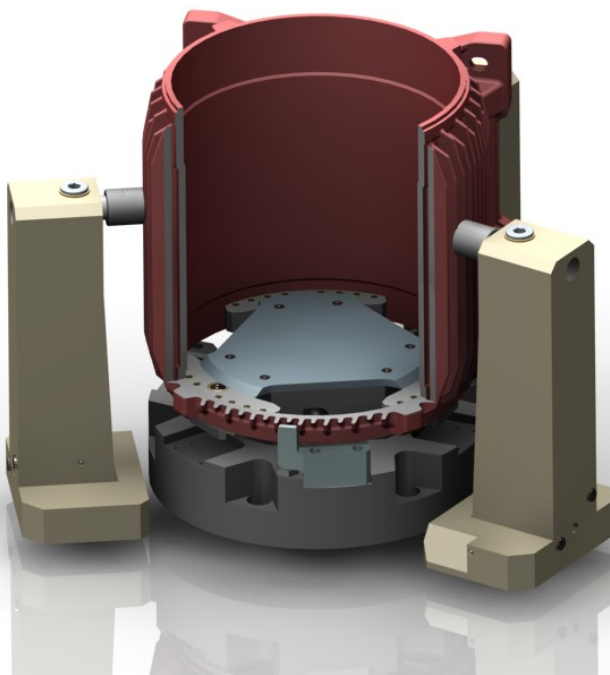
Taktéž na stroji č. II. se musela provést úprava v osazeních nástrojů. Změnou technologického postupu bylo rozhodnuto, že na stroji č. II. je nutné obrábět finální šlichtovací šponu plochy osazení pro příruby štítu. Na to velmi dobře posloužil upravený nástroj a to konkrétně upichovací nůž NSL 3225P3 COKV03 od firmy KENNAMETAL. Nožový držák destičky se musel speciálně upravit jak je patrné z Obr. 7.8, tak, aby podjel mezi sklopným dorazem a přitom mohl, obrobit šlichtovací operaci na spodní straně falce a dokázal srazit hrany na požadovaný rozměr. Tím se zaručila souosost obráběné plochy falce s vnitřní plochou $\varnothing 295,4^{+0,05}$ [mm] a také se snížila házivost daných ploch.



Obr. 7.8 – Upravený nožový držák šlichtovací destičky NSL 3225P3 COKV03¹²

7.3.3 Zhodnocení testování

Testování bylo zaměřeno na zjištění vlivu upínání nejnižší možné hranice, vnitřního válcového průměru, s pomocí vnějšího podepření sloupy s hydraulickým pohonem. Experimentální testy byly koncipovány jako dlouhodobé a probíhaly za spolupráce obsluhy stroje HWACHEON VTC 550 ML. První pokusy testování dopadly velmi dobře. Je třeba vyzdvihnout vysokou kvalitu odlitků. Ty byly při testování klíčové, na jejich mechanických vlastnostech, velmi záleželo. Těžko by šlo jinak určit jednoznačně jestli, se nástroje při obrábění, chovají nestandardně vlivem nového upínacího mechanismu, nebo se jednalo o špatný odlitek. Obrobitelnost těchto odlitků se ukázala velmi dobrou, stejně jako všechny funkční prvky mechanismu upínače Obr. 7.9. Oba stroje dosáhly v součtu, stejného strojního času jako u dvouřadého upínače.



Obr. 7.9 – Řez obrobenou kostrou v upínači se spodními čelistmi a podpěrnými sloupy¹²

8 Diskuse experimentů

Výsledkem experimentů byla hotová kostra 50538180101002 přesně v takovém stavu, jako se plánovalo. Obrobené plochy se povedlo obrobit se všemi dodržnými tolerancemi a navíc na jedno projetí šlichtovacího nože Obr. 8.1. Na základě zjištěných výsledků lze určit nové upínání za uspokojivé. Možností obrábět plochu na jedno projetí nožem, se jeví plocha přesně taková, jakou požadoval tým technologie. Dalším poznatkem je, že plocha falce obou stran, je po změně technologického postupu, přesněji obrobená.



Obr. 8.1 – Hotová obrobená kostra 50538180101002¹

9 Technicko-ekonomické zhodnocení

Pro provedení technicko-ekonomického zhodnocení bylo nejprve nutné zjistit fakta, které se týkaly obrábění a upínání kostry 1LE180. Východiskem byl předpoklad, že každá racionalizační změna ve výrobě se odráží v nákladech a je tedy cílem každého podniku jejich minimalizace. Bylo cílem nelézt úzká místa v technologickém postupu a stanovit opatření, které když se stanou standardem a budou se dodržovat, pak povedou k hospodárnější a technicky přijatelnější výrobě. Testy bylo zjištěno, že upínání na nejnižších možných bodech kostry s využitím opěrných sloupů přineslo likvidaci přechodu na obráběné ploše.

Nezbývá než toto řešení doporučit. Dvouřadé upínání je technologicky i ekonomicky velmi dobré, nic méně, jednořadé s využitím podpěrných sloupů s novými nástroji se mu po všech stránkách vyrovná a co víc obrobená plocha $\varnothing 295,4^{+0,05}$ [mm] je bez přechodové hrany. Dalším nezanedbatelným faktem je, že celá operace je ve stejném strojním čase jako dvouřadého upínače.

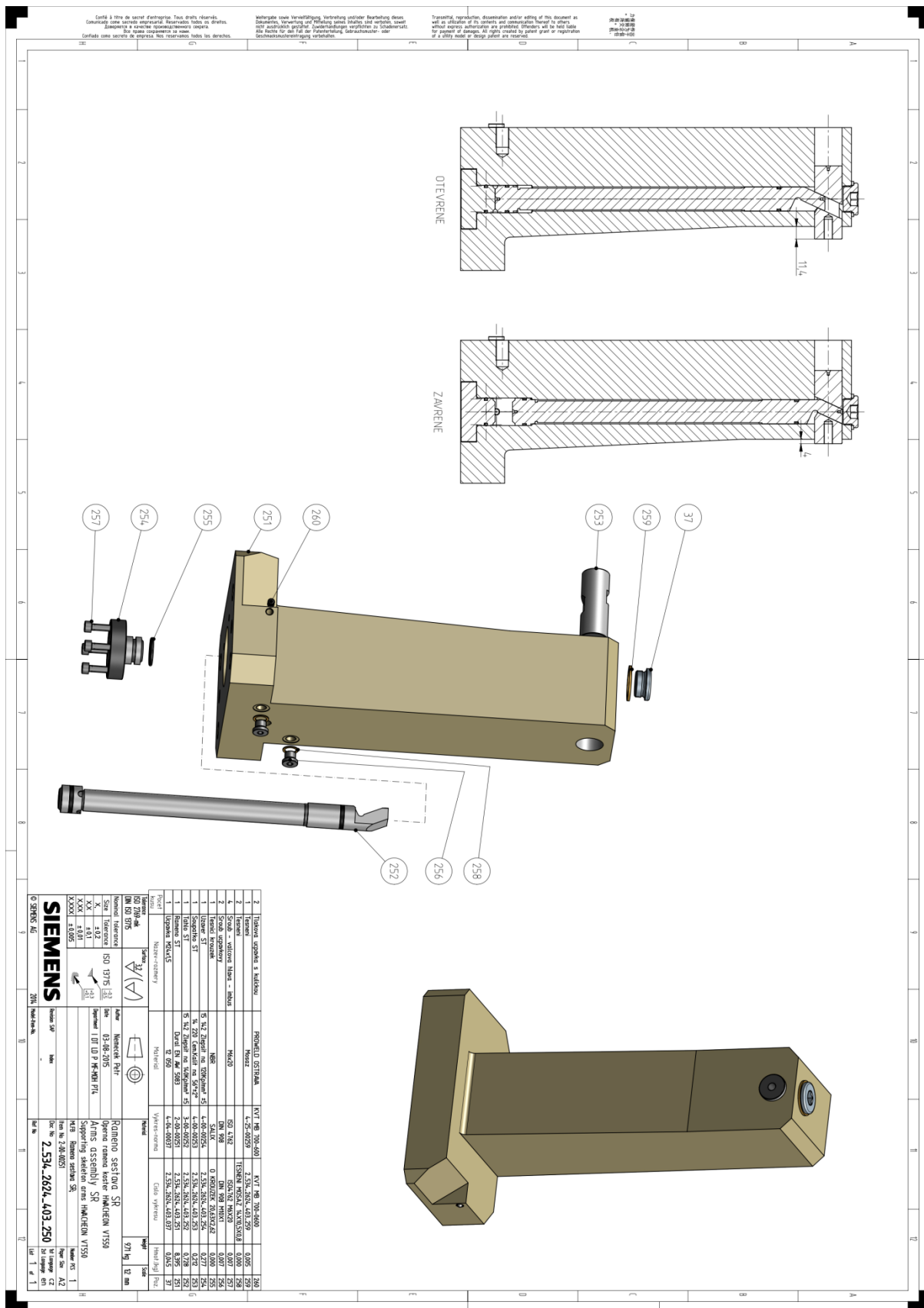
10 Seznam použité literatury.

1. **DOSTÁLOVÁ, L.** Presentace závodu. *Elektromotory Mohelnice - Česká Republika - Siemens*. [Online] 2016. <https://intranet.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/ozem/zavod/Pages/Default.aspx>.
2. **PODRÁBSKÝ, Tomáš a POSPÍŠILOVÁ, Simona.** Struktura a vlastnosti grafitických litin . *VUT, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství*,. [Online] 16. 11 2006. <http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/opory/savgl/index.php?chapter=1>.
3. **AB SANDVIK COROMAT - SANDVIK CZ s.r.o.** *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. [překl.] M. Kudela. Praha : Scienta, s.r.o., 1997. str. 857. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical. ISBN 91-972299-4-6.
4. **COROMANT, SANDVIK.** Technická příručka. *Sandvik Coromant*. [Online] Sandvik Coromant Czech Republic, 2016. [Citace: 02. 01 2017.] <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/pages/default.aspx>.
5. **ČEP, Robert.** Skripta Technologie II. 2.díl. *Přednášky z předmětu Technologie obrábění*. [Online] 2018. http://home1.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf.
6. **STAVINOHA, Zdeněk.** Soustružení při složitém upnutí obrobků. *Coptel*. [Online] 2018. <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=25227&revision=-1&instance=2>.
7. **KOCMAN, Karel a PROKOP, Jaroslav.** *Technologie obrábění*. Brno : CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
8. **KOCMAN, Karel a NĚMEČEK, Petr.** *Aktuální příručka pro technický úsek*. Praha : Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-902247-2-5.
9. **VLACH, Bohumil a kolektiv.** *Technologie obrábění a montáží*. Praha : SNTL/ALFA, 1990. ISBN 80-03-00143-9.
10. **BANGBAE-DONG.** Hwacheon. *HWACHEON TECHNOLOGY*. [Online] 2014. <http://www.hwacheon.com>. 1022.7.

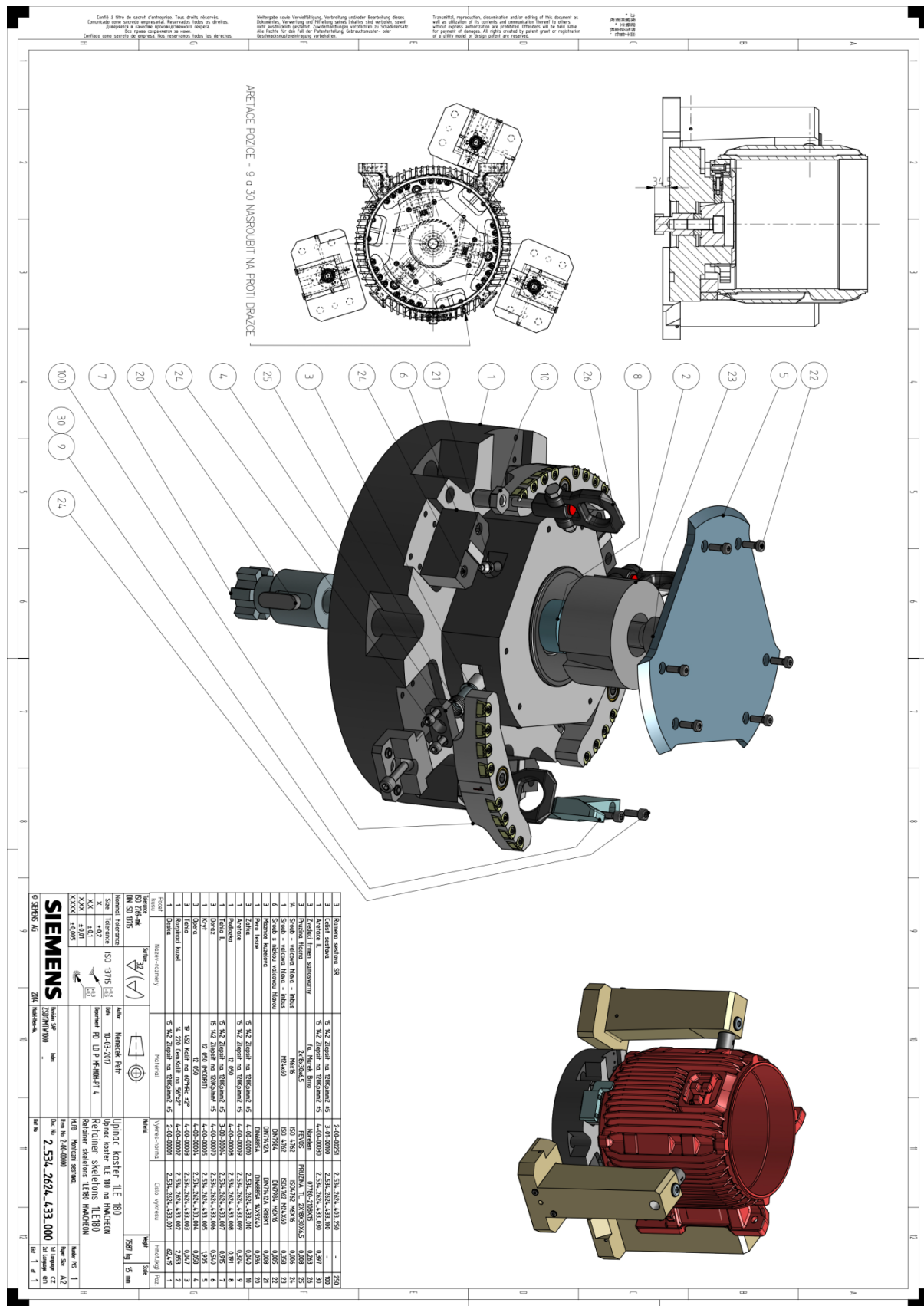
11. **SIEMENS.** Řídicí systémy SINUMERIK. *Digital factory & Process industries and drives.* [Online] 2018.
<http://www1.siemens.cz/ad/current/?vw=0&ctxnh=3c76394997&ctxp=home&acceptcookies=true>.
12. **NĚMEČEK, Petr.** *Výkresová, rendrovaná a fotografická dokumentace.* [PLM NX 10.0; CREO 2.0] Mohelnice : Konstrukce Nástrojárny Siemens Mohelnice s.r.o, 2017.
13. **RENISHAW.** Obrobkové sondy pro obráběcí stroje. *Renishaw apply innovation.* [Online] 2001-2018. <http://www.renishaw.cz/cs/obrobkove-sondy-pro-obrabeci-stroje--6075>.
14. **MRKVICA, Ivan.** *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů I.* Ostrava : VŠB - Technická univerzita, 1999. ISBN 80-7078-624-8.

11 Seznam příloh

Příloha A – Výkres sestavy podpěrného ramene.....	61
Příloha B – Výkres sestavy upínače se spodním upínáním	62
Příloha C – Výkres kostry řady 1LE 180 50538180101002	63
Příloha D – Výkres sestavy čelisti upínače	64
Příloha E – Výkres sestavy kleštiny stroje č. II.	65
Příloha F – Ukázka z CNC programu pro stroj č. II	66



Příloha A – Výkres sestavy podpěrného ramene



Příloha B – Výkres sestavy upínáče se spodním upínáním



63




```

;5_053_8180_101_002
;FREZA NOVA Z 39.162
;TIME 9 m 20 s
;DATUM 28.3.2013
;SERIOVA TECHNOLOGIE
;TLAK VALEC : 14 BAR
;PNB*****
;G543 SOUSTRUZENI
;G530 VRTANI PATKY+STITEK
;G528 FREZOVANI ZEBER
;POLOHOVANI OSY C M10 CELO FALCE N1340
;POLOHOVANI OSY C M5 SKRIN SVORKOVNICE N1350;
N10 M23 ; ZAVRENI DVERI
N20 LIMS=600
N30 M68 ;UPNOUT STRED
N40 M58 ;ODSAVANI
N50 G4 F1
;N60 M71 ; UPNUTI VNEJSI
N70 G4 F2
;N70 M55 ; ZAPNUTI DOPRAVNIKU TRISEK
N80 G0 G53 G40 G95 D0 Z600
N90 G0 G53 D0 X600
N100 G97 S200 M3
N110 G4 F1
N120
N130 ;-----
N140 MSG( " HRUBOVAT FALC 306.5 " )
N150 T09 D1 M6
N160 ;-----
N170 G543
N180 G0 X315 Z0.5
N190 G1 X295 F.25
N200 G0 Z0.5
N210 G0 X306.5
N220 G1 Z-4.3 F0.25
N230 G0 X355 Z2
N240 G0 Z-4.6 F0.25
N250 G1 X306.5
N260 G0 X308 Z2
N270 G97
N280 G0 G40 G53 D0 Z600 M9
N290 G0 G53 D0 X600
N300 MSG()

N310 ;-----
N320 MSG ( " HRUBOVAT VNITRNI PRUMERY " )
N330 T01 D1 M6
N340 ;-----
N345 G543
N350 G0 X312 M8
N355 G96 S200 M3
N360 G0 Z5
N365 G1 X296 Z-4.8 F.2

```

Příloha F – Ukázka z CNC programu pro stroj č. II